

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NOKTA BELİRLEME ALGORİTMALARI İLE OTOMATİK GÖRÜNTÜ
EŞLEŞTİRME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Müh. HAYRETTİN ACAR

**ARALIK 2012
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NOKTA BELİRLEME ALGORİTMALARI İLE OTOMATİK GÖRÜNTÜ
EŞLEŞTİRME**

HARİTA MÜHENDİSİ HAYRETTİN ACAR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.11.2012
Tezin Savunma Tarihi : 18.12.2012**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi KARSLI

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Anabilim Dalında
Hayrettin ACAR tarafından hazırlanan

NOKTA BELİRLEME ALGORİTMALARI İLE OTOMATİK GÖRÜNTÜ
EŞLEŞTİRME

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 27/11/2012 gün 1482 sayılı kararıyla
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Fevzi KARSLI

Üye : Doç. Dr. Abdulaziz GÜNEROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eminnur AYHAN

Prof.Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Nokta Belirleme Algoritmaları ile Otomatik Görüntü Eşleştirme” başlıklı çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Danışmanlığımı üstlenen ve çalışmalarım süresince her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi KARSLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez esnasında karşılaştığım problemleri çözmemde yardımcı olan ve tez dönemimdeki sıkıntılı zamanlarda beni motive eden değerli araştırma görevlisi ve diğer mesai arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim. Bugünlere gelmemde bana sürekli destek olan, maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan değerli aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunuyor ve bu çalışmamı onlara adıyorum.

Hayrettin ACAR

Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “NOKTA BELİRLEME ALGORİTMALARI İLE OTOMATİK GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Fevzi KARSLI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/11/2012

Hayrettin ACAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Fotogrametri	2
1.2.1. Dijital Fotogrametri	3
1.2.1.1. Geometrik, Spektral ve Radyometrik Çözünürlük	5
1.2.2. Epipolar Geometri	5
1.2.3. İzdüşüm (Doğrusallık) Denklemleri	6
1.3. Nokta Çıkarımı	9
1.4. Uygulamada Kullanılan Algoritmalar	10
1.4.1. Köşe Çıkarım Algoritmaları (HARRIS ve FAST)	10
1.4.2. Bölgesel Nokta Çıkarım Algoritması (SURF).....	13
1.4. Görüntü Eşleştirme	14
1.5. Rastgele Örneklem Konsensüsü (RANSAC)	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	18
2.1. Çalışma Alanı	17
2.2. Nokta Belirleme Algoritmalarının Uygulanması	19
2.3. Otomatik Görüntü Eşleştirme ile 3 Boyutlu Konum Tespiti.....	21
3. BULGULAR VE İRDELEME.....	22
3.1. Nokta Belirleme Algoritmalarının Değerlendirilmesi	22
3.2. Otomatik Görüntü Eşleştirme ile Belirlenen 3 Boyutlu Koordinatların Değerlendirilmesi	26
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	33

5.	KAYNAKLAR.....	34
6.	EKLER	36
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

NOKTA BELİRLEME ALGORİTMALARI İLE OTOMATİK GÖRÜNTÜ
EŞLEŞTİRME

Hayrettin ACAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fevzi KARSLI
2012, 35 Sayfa, 3 Ek Sayfa

Görüntü eşleştirme kavramı, Dijital Fotogrametri, Uzaktan Algılama, Görüntü İşleme ve Bilgisayarla Görme (Computervision) gibi alanların en önemli ortak konularından biridir. Özellikle fotogrametri ve uzaktan algılamada, stereo değerlendirme ile nokta konum tespiti ve görüntü uzayında ilgili nokta koordinatının elde edilmesi amacıyla görüntü eşleştirme işlemi mutlaka yapılmalıdır. Görüntülerin eşleştirilebilmesi için, detay noktalarının stereo görüntüler üzerinde seçilmesi ve eşlenik noktaların en iyi şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, otomatik görüntü eşleştirme işlemi ve nokta çıkarımı için kullanılan Speeded Up Robust Feature (SURF), Features from Accelerated Segment Test (FAST) ve Harris & Stephens Detector (HARRIS) algoritmalarının başarısı test edilmiş ve bu algoritmalar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bulunan ortak detay noktalarından en iyilerinin otomatik olarak eşleştirilmesi ve hatalı eşleşmelerin de Random Sample Consensus (RANSAC) algoritması ile otomatik olarak ayıklanması incelenmiştir. Sonuç olarak son yıllarda nokta çıkarımı amacıyla yaygın olarak kullanılan SURF, FAST ve HARRIS algoritmalarının fotogrametri ve uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilmiş görüntüler üzerindeki performansları ortaya konulmuştur. FAST algoritmasının özellikle köşe noktalarının yakalanmasında, SURF algoritmasının ise diğerlerinden fazla sayıda eşlenik nokta oluşturma aşamasında başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çalışmaya konu olan algoritmaların fotogrametri ve uzaktan algılamada görüntü yorumlama sürecinde görüntü eşleştirme ve 3B koordinat elde etme amaçlı yapılan çalışmaların otomatize edilmesinde önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Fotogrametri, Görüntü Eşleştirme, Otomatik Nokta Çıkarımı, FAST, SURF.

Master Thesis Thesis

SUMMARY

AUTOMATIC IMAGE MATCHING WITH POINT DETECTION ALGORITHMS

Hayrettin ACAR
Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatic Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Fevzi KARSLI
2012, 35 Pages, 3 Pages Appendix

The concept of image matching is one of the most important common topics in areas like Digital Photogrammetry, Remote Sensing, Image Processing and Computer Vision. Especially in Photogrammetry and Remote Sensing, image matching process must be carried out in order to determine interested point positions and to achieve the coordinates in image space with stereo evaluation. To match images, feature points must be selected on stereo images and the conjugate points must be identified in the best possible way. In this study, SURF (Speeded Up Robust Feature Extraction), FAST (Features from Accelerated Segment Test) and HARRIS (Harris & Stephens Detector) algorithms, three algorithms for image matching and point extraction, have been tested and compared against each other. Furthermore, the best matched common feature points have been matched automatically, and using the RANSAC (Random Sample Consensus) algorithm, the incorrect matches have been removed automatically. The resulting performances of SURF, FAST, and HARRIS algorithms, the three point extraction algorithms widely used in recent years, on Photogrammetry and Remote Sensing images have been presented. The FAST algorithm succeeded especially in catching the corner points and the SURF algorithm produced more feature points to be matched with a high precision. The algorithms used in this study, are evaluated to be very useful in the automatization of the basic tasks in image matching and 3D coordinate acquisition in Photogrammetry and Remote Sensing image analysis.

Key Words: Photogrammetry, Image Matching, Automatic Point Extraction, FAST, SURF.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Dijital fotogrametri genel akış diyagramı.....	3
Şekil 2. Dijital fotogrametride görüntü koordinat sistemi.....	4
Şekil 3. Epipolar ve stereo model geometrisi.....	6
Şekil 4. Objeye ile resim uzayı arasındaki ilişki.....	7
Şekil 5. Belirgin piksel özelliklerine göre özdeğerlerin değişimi.....	11
Şekil 6. HARRIS algoritması ile bulunan köşeler için örnek görüntü.....	12
Şekil 7. FAST algoritması ile bulunan köşeler için örnek görüntü.....	12
Şekil 8. SURF algoritması ile bulunan bölgeler için örnek görüntü.....	13
Şekil 9. Epipolar eşleştirme (a: sol resim b: sağ resim).....	15
Şekil 10. a) Veriler arasından rastgele nokta seçimi; b) seçilen noktalardan doğru geçirilmesi	16
Şekil 11. a) Oluşturulan doğruya diğer noktaların mesafelerinin hesaplanması; b) hangi noktaların doğruya istenilen mesafe içinde kaldığının hesaplanması.....	17
Şekil 12. İstenilen eşik değerlerini sağlayan noktaların belirlenmesi ve noktalardan en uygun doğrunun geçirilmesi.....	17
Şekil 13. Çalışma Alanı 1: Trabzon havaalanı bölgesi	18
Şekil 14. Çalışma Alanı 2: Fransa	19
Şekil 15. Trabzon Konaklar bölgesine ait GateWing X100 ile elde edilmiş stereo görüntüler.....	20
Şekil 16. Havaalanı bölgesinde elde edilen noktalar için örnek görünüm ...	20
Şekil 17. 3B konum tespiti için kullanılan stereo hava fotoğrafları.....	21
Şekil 18. SURF algoritması ile eşleştirilmiş noktalar.....	22
Şekil 19. FAST algoritması ile eşleştirilmiş noktalar.....	23
Şekil 20. HARRIS algoritması ile eşleştirilmiş noktalar.....	23
Şekil 21. Bindirmeli görüntü ve noktalar (SURF).....	24
Şekil 22. Bindirmeli görüntü ve noktalar (FAST).....	25
Şekil 23. Bindirmeli görüntü ve noktalar (HARRIS).....	25
Şekil 24. 3B Konum tespiti için eşleştirilmiş noktalar.....	26
Şekil 25. Bindirmeli görüntüler üzerinde noktaların dağılımı.....	27
Şekil 26. Nokta adları yazdırılmış eşlenik noktalar.....	27

Şekil 27.	Manuel ve otomatik olarak hesaplanan koordinat fark vektörleri	30
Şekil 28.	Birinci görüntü için piksel bazında hatalar.....	30
Şekil 29.	İkinci görüntü için piksel bazında hatalar.....	31

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Nokta çıkarım algoritmalarının genel özelliklerinin karşılaştırılması....	10
Tablo 2. Manuel ve otomatik olarak bulunan arazi koordinatları arasındaki farklar.....	28
Tablo 3. Manuel ve otomatik olarak bulunan resim koordinatları arasındaki piksel bazında farklar.....	29

SEMBOLLER DİZİNİ

E	Orijinal Görüntü ve Hareket Eden Görüntü Arasındaki Fark
u	Pencerenin x Yönündeki Yer Değiştirmesi
v	Pencerenin y Yönündeki Yer Değiştirmesi
w (x,y)	Pencerenin Konumu (x,y)
I (x,y)	(x,y) Konumundaki Görüntü Yoğunluęu
T _{iter}	İterasyon Sayısı
q	Seçilen Test Verileri İçin Örnekleme Olasılığı
ε	Eşik Değeri Olasılığı
ω	X ekseni etrafında dönüklük
ψ	Y ekseni etrafında dönüklük
κ	Z ekseni etrafında dönüklük
R _{ωψκ}	Dönüklük matrisi
x,y	İki Boyutta Resim Koordinatları
x ₀ , y ₀	Resim Asal Noktasının Koordinatları
c	Kamera Asal Uzaklığı
f	Odak Uzaklığı
C	Projeksiyon Merkezi
λ	Özdeęer
P	Obje Noktası
P'	P Noktasının Sol Resimdeki İzdüşümü
P''	P noktasının Sağ Resimdeki İzdüşümü
XYZ	Üç boyutlu Kartezyen Sistemindeki Koordinatlar
X ₀ Y ₀ Z ₀	Kamera (İzdüşüm) Merkezinin Koordinatları
ASPRS	Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
HARRIS	Harris and Stephens Detector
SURF	Speeded Up Robust Feature
FAST	Features from Accelerated Segment Test
RANSAC	Rastgele Örnekleme Konsensüsü
SAD	Mutlak Farklar Toplamı

DSM	Sayısal Yüzey Modeli
DTM	Sayısal Arazi Modeli

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya üzerinde bir nesnenin cisim uzayındaki konumunun belirlenebilmesi ya da bulunduğu konuma yönelik analizler yapılabilmesi için koordinat bilgisinin gereksinimi şüphesizdir. Günümüzde kullanıcıların konum bilgisine olabildiğince hızlı ve ihtiyaç duyulan doğrulukta ulaşmak istemeleri, birçok ölçme yönteminin geliştirilmesini sağlamıştır. Kullanılan ölçme tekniklerinin mühendislik disiplini gereğince güvenilir ve ekonomik olmasının yanı sıra gelişen teknoloji ile birlikte otomatize edilmiş ve insan kaynaklı hatalardan arındırılmış olması da gerekmektedir. Bu amaçla cisimlere yönelik direkt ölçüm yöntemleri yerine görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntü üzerinden konum bilgisi ticari/akademik yazılımlar yardımıyla manuel ya da otomatik olarak elde edilebilmektedir. Bu süreçte stereo değerlendirme ile özellikle yeryüzüne ilişkin yükseklik bilgisinin çıkarımı ve nokta konum tespiti yapılabilmesi için görüntü eşleştirme işleminin mutlaka yapılması gerekmektedir. Günümüzde otomatik görüntü eşleştirilmesine yönelik farklı mühendislik alanlarında birçok araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte fotogrametri ve uzaktan algılama alanlarında özellikle hava fotoğrafları gibi üzerinde yoğun detay barındıran görüntüler üzerinde nokta tabanlı otomatik eşleştirme ve üç boyutlu koordinat üretimine yönelik sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada uzaktan algılama ve fotogrametrik teknikler ile elde edilmiş stereo görüntü çiftleri için tam otomatik bir görüntü eşleştirme ve üç boyutta koordinatları bilinen detay noktaları çıkarımı amacı ile MATLAB ortamında bir yazılım hazırlanmış ve bu yazılımla değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmaya konu olan algoritmaların fotogrametri ve uzaktan algılamada görüntü yorumlama sürecinde görüntü eşleştirme ve 3B koordinat elde etme amaçlı yapılan temel çalışmaların otomatize edilmesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Fotogrametri

Fotogrametrinin kullanımı, yeryüzünün optik sistemler yardımıyla, fotoğrafik emülsiyon ile düz bir yüzeye izdüşüm olarak aktarılabilmesi olasılığı ile başlamıştır. Fotoğrafın Niépce and Daguerre tarafından 1839'da icadı ile, Fransız ordusu topoğrafi Aimé Laussedat fotoğraflar üzerinden ölçüm yapmasını sağlayan ilk kamerayı icat etmiştir. 1958'de ise Alman mimar A. Meydenbauer kamu binalarının dokümantasyonu için fotoğraflar üzerinden ölçüm yöntemlerini tanıtmıştır (Konecny, 2003).

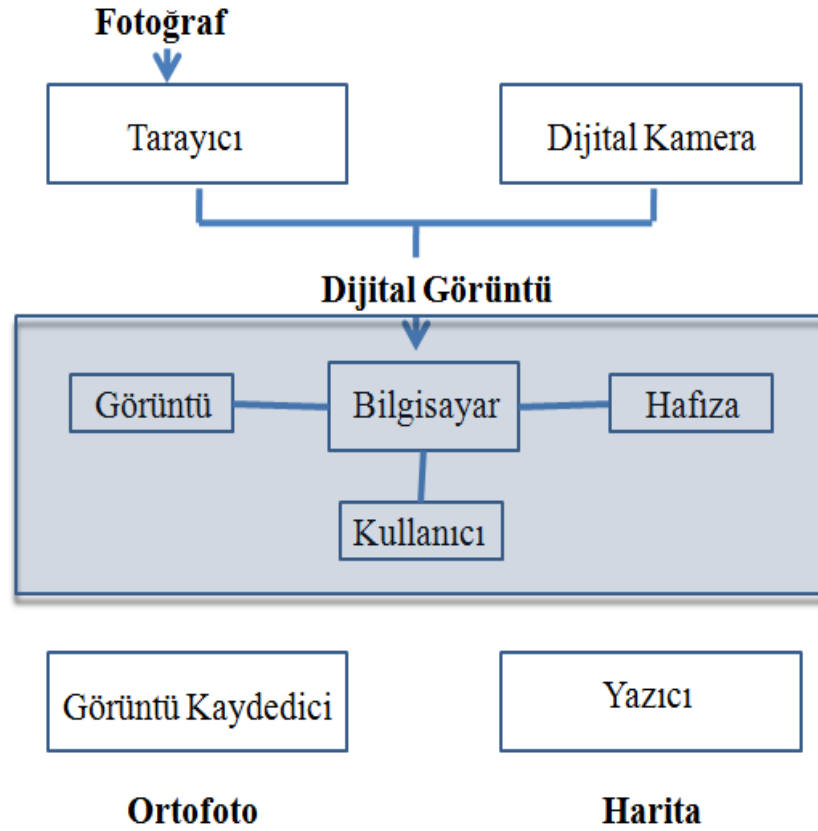
Fotogrametri günümüzde birçok farklı şekilde tanımlanmıştır. Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ASPRS)'nin resmi tanımına göre: Fotogrametri, fotoğrafik görüntüler ve kaydedilmiş elektromanyetik enerji modellerine göre görüntünün kaydedilme, ölçülme ve yorumlama işlemleri ile fiziksel nesnelere ve çevre hakkında güvenilir bilgi edinme sanatı, bilimi ve teknolojisidir.

Fotogrametri için daha genel bir tanım yapılmak istenirse; 2 boyutlu görüntülerden 3 boyutta görüntü uzayında modellemeye imkân sağlayan herhangi bir ölçüm tekniği olarak da adlandırılabilir. Bu tanım, 2 boyutta fotoğrafik görüntüler için doğru bir tanım olmasına rağmen; radar veya tarayıcı bir sistem ile çalışan teknikler için fotogrametrik işlemler görüntü çeşidinden bağımsız da kalabilmektedir. Bu bağlamda kullanılan fotogrametrik teknikler, elde edilmek istenilen veri türüne ve duyarlılığına göre değişmektedir (Kasser and Egels, 2002).

Ölçüm işlemlerini görüntüler üzerinden yapmak aynı zamanda cisimler ile hiçbir fiziksel temas olmaksızın ölçüm işlemlerini tamamlamak anlamına da gelmektedir. Cisim uzayında, üç boyutta koordinat bilgisine gereksinim duyulduğunda, kullanılmak istenen tek bir görüntü ile sadece iki boyutta bilgi elde edilebilmektedir. İnsan görüşü dikkate alındığında gözler ile yapılan gözlemlerin derinlik algısını hissettirdiği bilinmektedir. Cisimlerin bize ve birbirlerine olan mesafelerine göre algılanan derinlik hissi, insan beyninin farklı konumlarda bulunan sağ ve sol gözlerden gelen sinyalleri birlikte değerlendirmesi ve sonrasında üç boyutlu (stereoskopik) görüntüye dönüştürmesi ile oluşmaktadır. Bu bağlamda stereoskopik görüntü elde edebilmek ve üç boyutta koordinat bilgisi çıkarımı için aynı bölgeye ait iki veya daha fazla görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır (Linder, 2009).

1.2.1. Dijital Fotogrametri

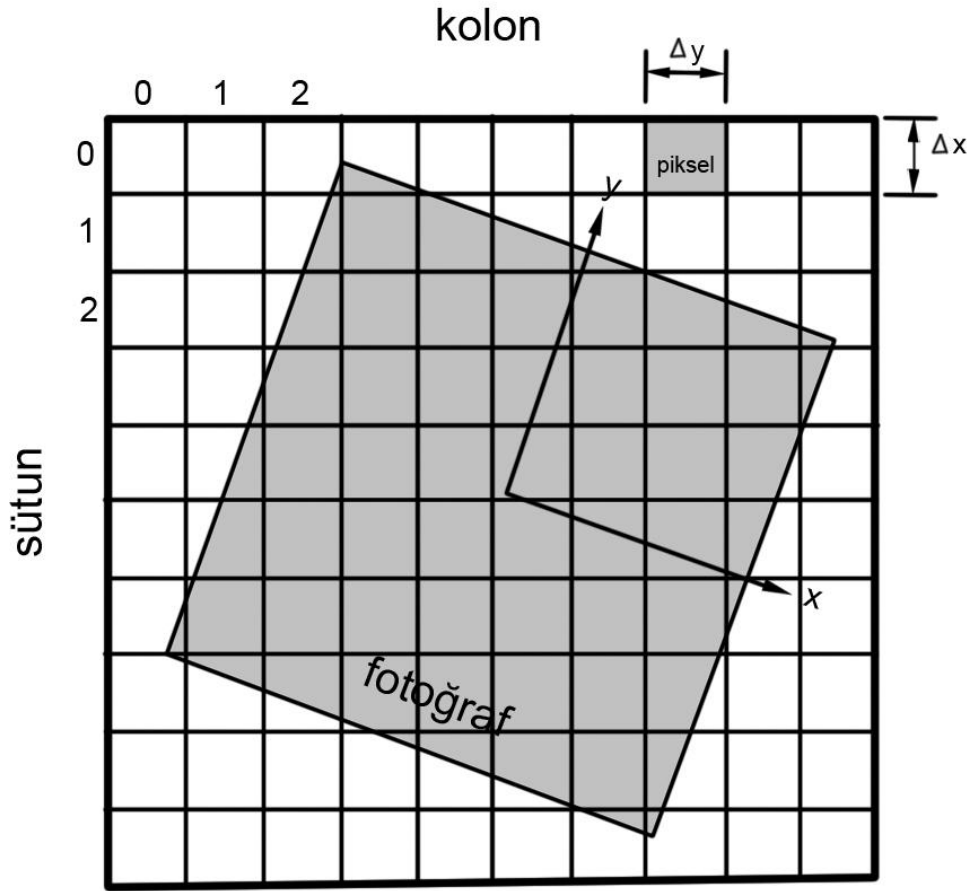
Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte büyük boyutlardaki görüntülerin depolanabilmesi ve üzerlerinde işlemler yapılabilmesi dijital fotogrametrinin, analog ve analitik fotogrametriye göre ön plana çıkmasını sağlamıştır. Günümüzde dijital kameralar dışında kayıt yapılmış fotoğraflar dahi tarayıcılar yardımıyla dijitalleştirilebilmekte ve bilgisayar ortamında işlenebilmektedir. Dijital elde edilmiş görüntüler (dijitalleştirilmiş görüntüler) bilgisayar ortamında kullanıcılar tarafından işlenerek ihtiyaç duyulan ürünler (ortofoto, harita vs.) elde edilebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Dijital fotogrametri genel akış diyagramı (Schenk, 1999)

Dijital görüntülerde soyut noktalar ve çizgiler yerine karesel resim elemanları (piksel=picture element) bulunmaktadır. Fotoğraflar $F(x,y)$ şeklinde, görüntü olarak adlandırılan, x , y konumundaki uzaysal değişkenleri ve fonksiyon değerleri (genlik) ile sürekli bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Gerçekte, bu sürekli fonksiyon hem uzaysal

değişkenlere hem de fonksiyon değerlerine göre ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan fonksiyon sonucuna göre $f(x, y)$ dijital görüntü denilmektedir. Uzaysal değişkenlerin (Δx , Δy) ayrıştırılması işlemi örnekleme, genliğin (g) ayrıştırılması işlemi ise sayısallaştırma olarak adlandırılmıştır. Δx ve Δy olarak ayrıştırılan elemanlar piksel, Δg (genlik farkı) ise gri değer veya parlaklık olarak adlandırılmaktadır. Dönüklük içeren fotoğraf koordinat eksenleri (x , y) ve dijital görüntü koordinat sistemi (sütun, kolon) aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2) (Schenk, 1999).



Şekil 2. Dijital fotogrametride görüntü koordinat sistemi (Schenk, 1999)

1.2.1.1 Geometrik, Spektral ve Radyometrik Çözünürlük

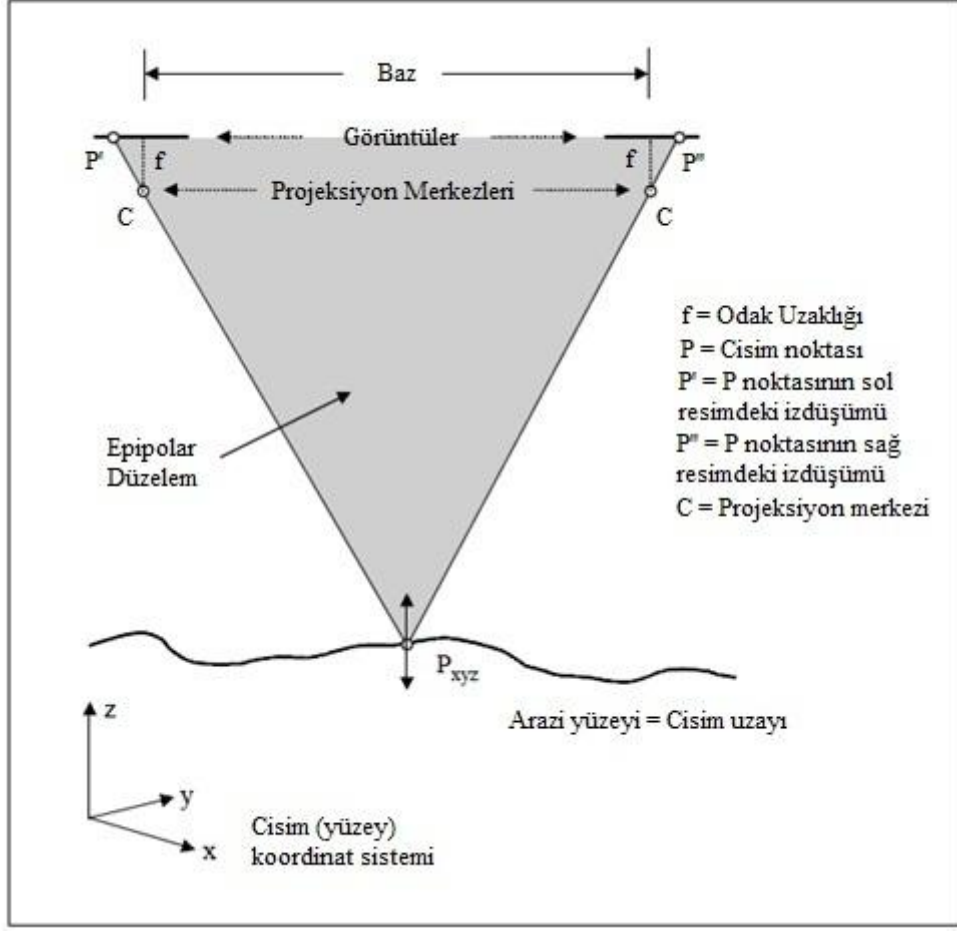
Dijital görüntülerin en küçük birimlerini oluşturan piksellerin cisimleri ayırt edebilme yetenekleri geometrik (konumsal) çözünürlük olarak adlandırılmaktadır. Geometrik çözünürlük görüntü elde edilmek üzere kullanılan sensörlerin yapısına ve görüntü ölçeğine bağlı olarak değişmektedir. Görüntülerdeki piksel değerlerinin küçük olması geometrik çözünürlüğün küçülmesini sağlar ve bunun sonucunda detayların ayırt edilmesi kolaylaşmaktadır.

Spektral çözünürlük, görüntü alınmasını sağlayan sensörlerin duyarlı olduğu dalga boyu aralığına göre değişmektedir. Sensörlerin algıladığı dalga boyu aralığının küçük olması spektral çözünürlüğün iyi olması anlamına gelmektedir.

Radyometrik çözünürlük, görüntüleri oluşturan enerji farklılıklarının ayırt edilebilme özelliklerine göre değişmektedir. Enerji farklılıklarının kayıt edilmesi sonucunda ayırt edilebilen gri ton miktarlarına göre radyometrik çözünürlük belirlenmektedir. Tek bitlik bir görüntü ile sadece siyah ya da beyaz ayrımı yapılabilirken, 8 bitlik bir görüntü için 0-255 arasında değişen farklı piksel değerleri algılanabilmektedir. Radyometrik çözünürlüğün büyük olması algılanabilen piksel değerlerinin miktarını artırarak yorumlama kolaylığı sağlamaktadır.

1.2.2 Epipolar Geometri

Stereoskopik görüş için gerekli olan, aynı bölgeye ait farklı konumlardan alınmış görüntüler ile her iki görüntüde de bulunan herhangi bir noktanın üç boyutta koordinatlarını elde etmek mümkündür (Linder, 2009). Her iki görüntüde de bulunan zeminde seçilen aynı nokta için, birbirine paralel görüntü düzlemleri ile bakıldığında epipolar geometri olarak tanımlanan, üç boyutlu koordinat bilgisine geçişi sağlayan trigonometrik koşullar sağlanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Epipolar ve stereo model geometrisi (Linder, 2009).

Oluşturulan stereo modeldeki geometrik parametrelerin hepsi bilinen ya da hesaplanarak elde edilebilecek görüntüler kullanıldığında, zemindeki noktalar için üç boyutlu (X , Y , Z) koordinatlar trigonometrik denklemler yardımı ile kestirim yapılarak hesaplanabilmektedir.

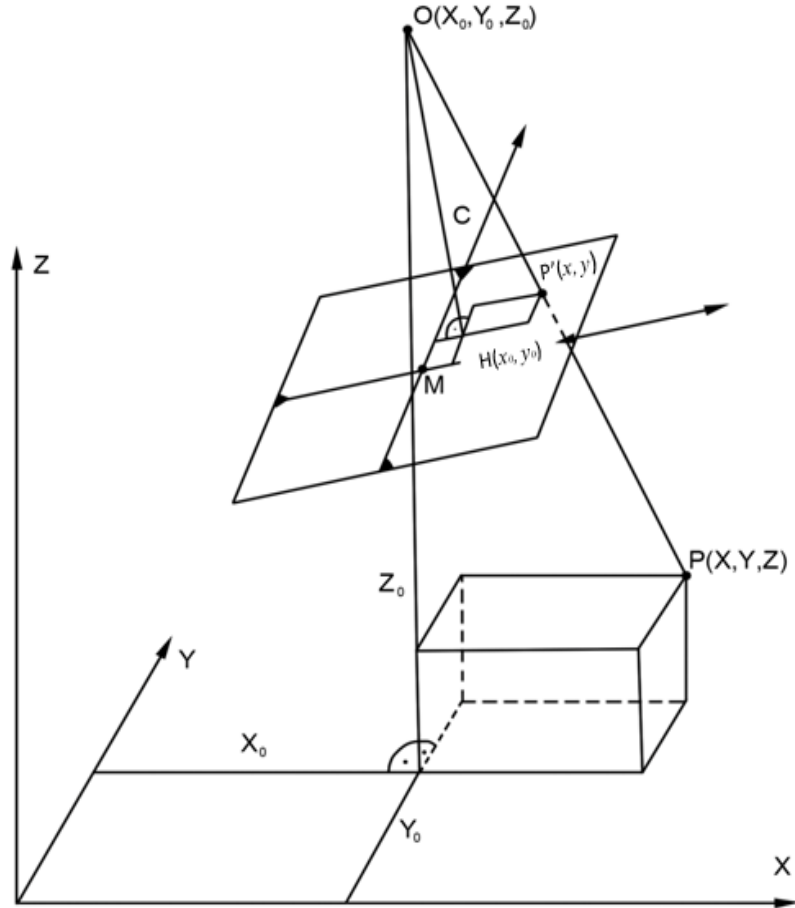
1.2.3. İzdüşüm (Doğrusallık) Denklemleri

Cisim uzayında dönüklükler birbirinden bağımsız üç farklı parametre ile belirlenmektedir. Fotogrametride bu dönüklük parametreleri genelde ω (X eksenine etrafında), ψ (Y eksenine etrafında) ve κ (Z eksenine etrafında) olarak kullanılmaktadır. Herhangi bir x , y , z koordinat sistemindeki bir nokta, üç dönme açısı (ω , ψ , κ) ile birlikte farklı bir X , Y , Z koordinat sistemine dönüştürülebilmektedir. Dönüşüm denklemlerinin

oluşturulabilmesi için ω , ψ ve κ dönüklüklerini içeren bir dönüklük matrisi (R) tanımlanmıştır (1).

$$R_{\omega \psi \kappa} = \begin{pmatrix} \cos\omega\cos\kappa & -\cos\psi\sin\kappa & \sin\psi \\ \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\psi\cos\kappa & \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\psi\sin\kappa & -\sin\omega\cos\psi \\ \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\psi\cos\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\psi\sin\kappa & \cos\omega\cos\psi \end{pmatrix} \quad (1)$$

Bir P obje noktası için X, Y, Z cisim koordinatları ve bu noktanın görüntü üzerindeki koordinatları (x, y) arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu trigonometrik ilişkiye göre matematiksel denklemler tanımlanmıştır (2,3) (Krause, 2004).



Şekil 4. Objeye ile resim uzayı arasındaki ilişki (Krause, 2004).

$$x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (2)$$

$$y = y_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemlerde r_{ik} parametreleri üç boyutta R dönüklük matrisinin elemanları, x ve y iki boyutta resim koordinatları, x_0 ve y_0 resim asal noktasının koordinatları, c kamera asal uzaklığı, XYZ üç boyutlu bir üst kartezyen koordinat sistemindeki koordinatları ve $X_0Y_0Z_0$ ise kamera merkezinin XYZ ile aynı kartezyen koordinat sistemindeki koordinatlarını temsil etmektedir. (2) ve (3) nolu denklemler her bir cisim noktası için bir resim noktası denk geldiğini göstermektedir.

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}c}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}c} \quad (4)$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}c}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}c} \quad (5)$$

(2) ve (3) nolu denklemler Z koordinatlarına bağımlı olarak düzenlendiğinde (4) ve (5) nolu denklemler elde edilmiştir. Bu denklemler için her bir resim noktasına ait sonsuz sayıda cisim noktası hesaplanabileceği görülmektedir. (4) ve (5) nolu denklemler, yükseklik bilgisi (Z) bulunmadığında tek bir görüntü ile cisim uzayında koordinatların elde edilemeyeceğini göstermektedir. Bu sebeple cisimlerin üç boyutta koordinatlarına ulaşılabilmesi için aynı bölgeye ait en az ikinci bir görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır (Krause, 2004).

x_0 ve y_0 resim asal noktasının koordinatları ve c kamera asal uzaklığı parametreleri iç yöneltme elemanları olarak, $X_0Y_0Z_0$ kamera merkezinin XYZ ile aynı kartezyen koordinat sistemindeki koordinatları ve dönüklük parametreleri (ω, ψ, κ) ise dış yöneltme elemanları olarak adlandırılmaktadırlar. Çift resim değerlendirmesinde iki farklı görüntü üzerinde aynı noktaya ait konum bilgisinin çıkarılabilmesi için iç ve dış yöneltme

elemanlarının bilinmesi gerekmektedir. İstenilen noktaya ait koordinatların hesaplanması aşamasında (4) ve (5) nolu denklemler her iki görüntü için de ayrı ayrı işleme katılacağından toplamda 4 adet denklem oluşmaktadır. Her iki görüntü için x_1, y_1, x_2, y_2 $x_{01}, y_{01}, x_{02}, y_{02}$ değerleri biliniyorken ve X_0, Y_0, Z_0, c değerleri aynı kalacağından nokta için cisim uzayında X, Y ve Z koordinatları hesaplanabilmektedir.

1.3. Nokta Çıkarımı

Görüntü işleme (image processing) ve bilgisayarla görme (computer vision) alanlarında, görüntüler üzerinde otomatik nokta çıkarımı ve sonrasında otomatik görüntü eşleştirme amacı ile birçok algoritma geliştirilmiştir. Literatürde Hessian detector (Beaudet, 1978), Moravec detector (Moravec, 1979), Förstner detector (Förstner, and Guelch, 1987), Harris detector (Harris, and Stephens, 1988), Tomasi and Kanade detector (Tomasi, and Kanade, 1991), Haralick operator (Haralick, 1985), Heitger detector (Heitger, Rosenthaler, von der Heydt, Peterhans, and Kuebler, 1992), Susan detector (Smith, and Brady, 1997), Surf detector (Bay, Ess, Tuytelaars, and Van Gool., 2006), Fast detector (Trajkovic, and Hedley, 1998) gibi farklı algoritmalar sunulmuştur. Bu algoritmaların bazıları köşe noktası yakalayıcıları iken; bazıları ise görüntü üzerinde oluşturulan özel bölgelere göre nokta tespit etmektedirler. Nokta çıkarım algoritmaları; köşe yakalayıcı, bölgesel nokta yakalayıcı, dönüklük, ölçek ve afinden bağımsızlık, tekrarlanabilirlik, lokasyon doğruluğu, sağlamlık ve verimlilik gibi birçok farklı özelliklerle sınıflandırılmışlardır (Tablo 1).

Tablo 1. Nokta çıkarım algoritmalarının genel özelliklerinin karşılaştırılması
(Fraundorfer, and Scaramuzza, 2012)

	Bölge Algılayıcı	Köşe Algılayıcı	Dönüklük Sabit	Ölçek Sabit	Afin Sabit	Tekrarlanabilirlik	Lokasyon Doğruluğu	Sağlamlık	Verimlilik
HARRIS		✓	✓			+++	+++	++	++
Shi-Tomasi		✓	✓			+++	+++	++	++
FAST		✓	✓	✓		++	++	++	++++
SIFT	✓		✓	✓	✓	+++	++	+++	+
SURF	✓		✓	✓	✓	+++	++	++	++

Tablo 1’de belirtilen özellikler için Dönüklük sabit; farklı dönüklüklerde çalışabilme, Ölçek sabit; farklı ölçeklerde aynı noktaların bulunabilmesi, Afin sabit; Afindeki değişikliklerden sonra aynı noktaların bulunabilmesi, Tekrarlanabilirlik; benzer görüntüde aynı noktaların bulunabilmesi, Lokasyon doğruluğu; noktaların olması gereken detaylarda bulunması, Sağlamlık; bozucu etkenlerden etkilenmeme, Verimlilik; aynı işlemler tekrarlandığında aynı sonuçların bulunabilmesini ifade etmektedir.

1.4. Uygulamada Kullanılan Algoritmalar

1.4.1. Köşe Çıkarım Algoritmaları (HARRIS ve FAST)

HARRIS ve FAST gibi köşe çıkarım algoritmaları, bulunması beklenen köşe noktaları için, nokta etrafında istenilen mesafedeki komşuluklara göre piksel değerlerindeki değişimleri inceler ve nokta etrafındaki piksel değerlerine göre köşe olup olmadığını otomatik olarak belirler. HARRIS algoritması için piksel değerlerindeki değişimlerin incelenmesi (6):

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (6)$$

şeklinde ifade edilmektedir. E orijinal görüntü ve hareket ettirilmiş görüntü arasındaki fark, u pencerenin x yönündeki yer değiştirmesi, v pencerenin y yönündeki yer değiştirmesi, w (x,y) pencerenin konumu (x,y), I (x,y) (x,y) konumundaki görüntü yoğunluğunu ifade etmektedir. Denklem Taylor serisinde açılması ile (7):

$$M = \sum w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

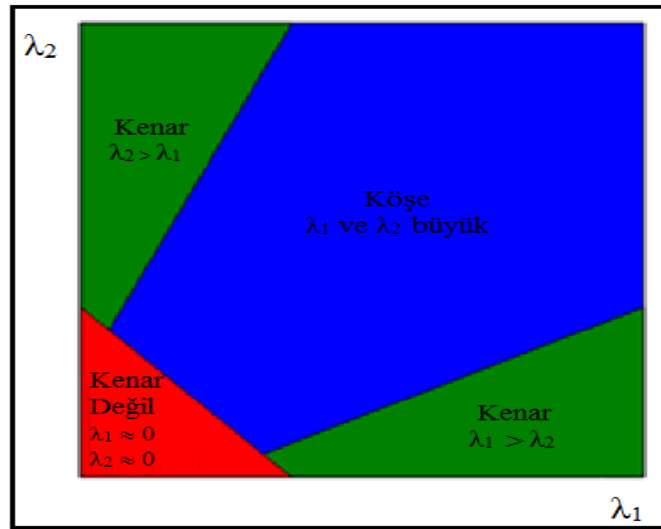
M matrisi elde edilmektedir. Bu matrisin determinanı ve izlerine göre pikselin köşe olup olmadığı kıyaslanmaktadır (8, 9 ve 10).

$$R = \det M - k(\text{trace } M)^2 \quad (8)$$

$$\det M = \lambda_1 \lambda_2 \quad (9)$$

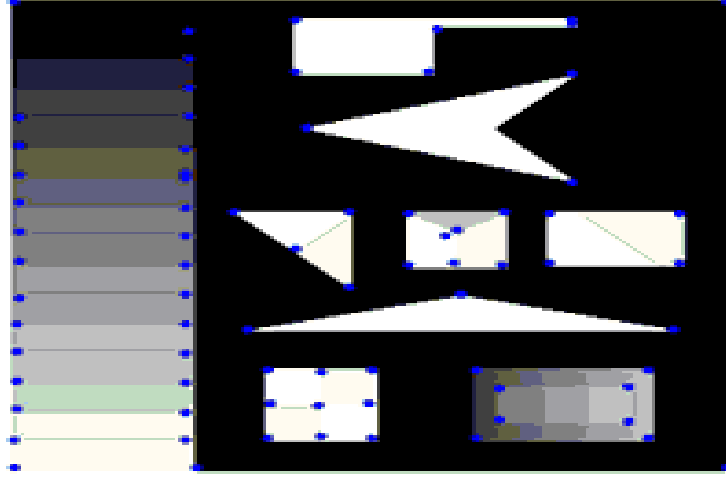
$$\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (10)$$

λ_1 , λ_2 özdeğerler olmak üzere (Şekil 5);



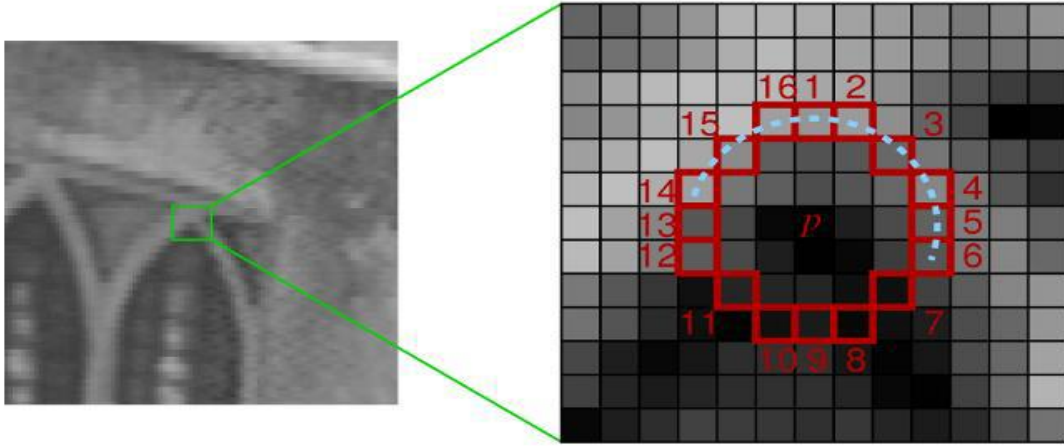
Şekil 5. Belirgin piksel özelliklerine göre özdeğerlerin değişimi (URL-1,2012)

- Özdeğerlerden biri büyük biri küçükse piksel kenar üzerindedir ama köşe pikseli değildir.
- Özdeğerlerden her ikisi de küçükse, piksel kenar üzerinde değildir.
- Özdeğerlerin (λ_1 , λ_2) her ikisi de büyükse, piksel köşe pikselidir (Şekil 6).



Şekil 6. Harris algoritması ile bulunan köşeler için örnek görüntü (URL-1,2012)

Temelde HARRIS algoritmasının geliştirilmesi ile kullanılmaya başlanan FAST algoritması ise seçilen her piksel için, piksel etrafında istenilen piksel mesafesine göre bütün pikselleri tarar ve parlaklık değişimlerini inceleyerek pikselin köşe olup olmadığına karar vermektedir (Şekil 7).

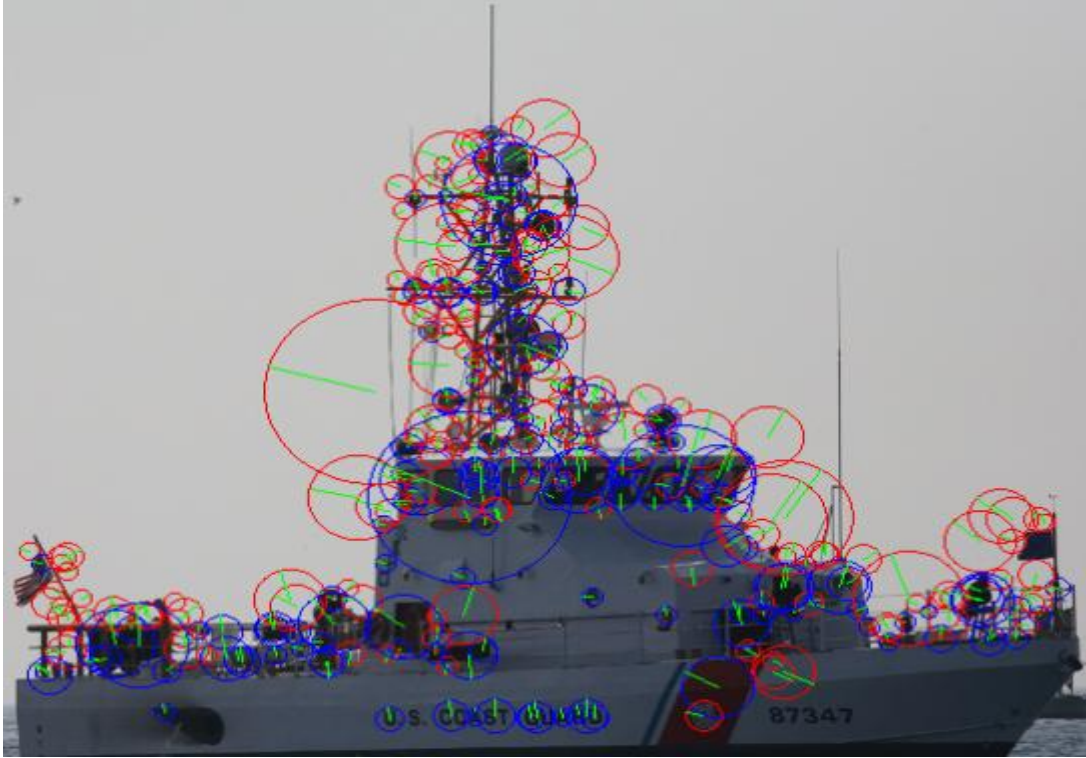


Şekil 7. FAST algoritması ile bulunan köşeler için örnek görüntü (Rosten vd., 2010)

1.4.2. Bölgesel Nokta Çıkarım Algoritması (SURF)

SURF algoritması, köşe yakalama algoritmalarından farklı olarak köşe noktaları bulmak yerine görüntü üzerinde, Hessian matris determinantının maksimum olduğu bölgelerde noktalar tespit etmektedir (Şekil 8).

$$H(I(x,y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 I}{\partial_y \partial_x} \\ \frac{\partial^2 I}{\partial_x \partial_y} & \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

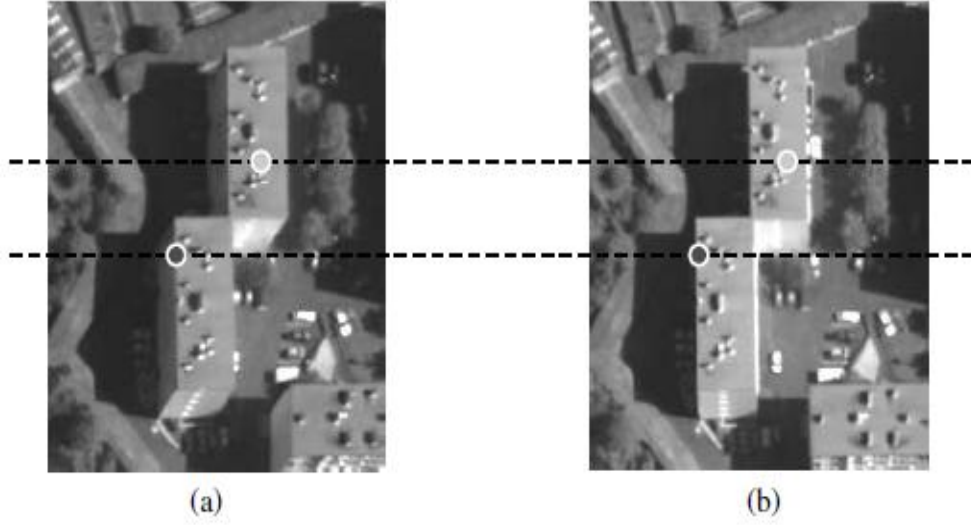


Şekil 8. SURF algoritması ile bulunan bölgeler için örnek görüntü (Guerrero, 2011)

1.4. Görüntü Eşleştirme

Coğrafi bilgi sistemlerinin temel bileşenleri olan ortofoto ve sayısal yükseklik modeli (DTM), fotogrametrinin temel ürünlerindedir. Bu ürünlerin güncel olması, hızlı ve ekonomik bir şekilde oluşturulması, elde edilen verilerin doğruluğunun kontrol edilebilir olması gerekmektedir (Potůčková, 2004). Bu sebeplerden dolayı görüntü eşleştirmenin önemi daha da artmaktadır.

Görüntü eşleştirme kavramı, Dijital Fotogrametri, Uzaktan Algılama, Görüntü İşleme ve Bilgisayarla Görme (Computer vision) gibi alanların en önemli ortak konularından biridir. Analog fotoğrafların yerini dijital fotoğrafların alması, obje konumlarının dijital stereo görüntü çiftleri yardımı ile otomatik olarak belirlenebilmesine imkân tanımaktadır. Özellikle fotogrametri ve uzaktan algılamada, stereo değerlendirme ile üç boyutlu konum bilgisi üretimi ve görüntü uzayında koordinatın elde edilmesi amacıyla görüntü eşleştirme işlemi mutlaka yapılmalıdır. Görüntülerin eşleştirilebilmesi için, detay noktalarının (feature points) stereo görüntüler üzerinde seçilmesi ve eşlenik noktaların en iyi şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Fotogrametrik uygulamalar için geliştirilmiş paket programlar yardımı ile eşlenik noktalar yarı manuel olarak seçilirken, detay çıkarım algoritmaları ile eşlenik noktaların otomatik olarak elde edilebilmesi mümkün kılınmıştır. Algoritmalar ile otomatik olarak çıkartılan noktaların eşleştirilebilmesi için görüntülerde normalizasyon işlemi yapıp, her bir görüntünün aynı eksene paralel duruma getirilerek epipolar geometrinin oluşturulması gerekmektedir. Eşleşen noktalara bağımlı olarak oluşturulan Fundamental Matrix (Temel Dönüşüm Matrisi) ile stereo görüntü çiftlerinin normalizasyonu gerçekleştirmiş ve epipolar çizgiler oluşturulmuştur. Oluşturulan epipolar geometri ile gerçek eşlenik noktalar epipolar düzlem üzerinden bulunarak yanlış eşleşmeler giderilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Epipolar eşleştirme (a:sol resim b: sağ resim) (Kasser, and Egels, 2002)

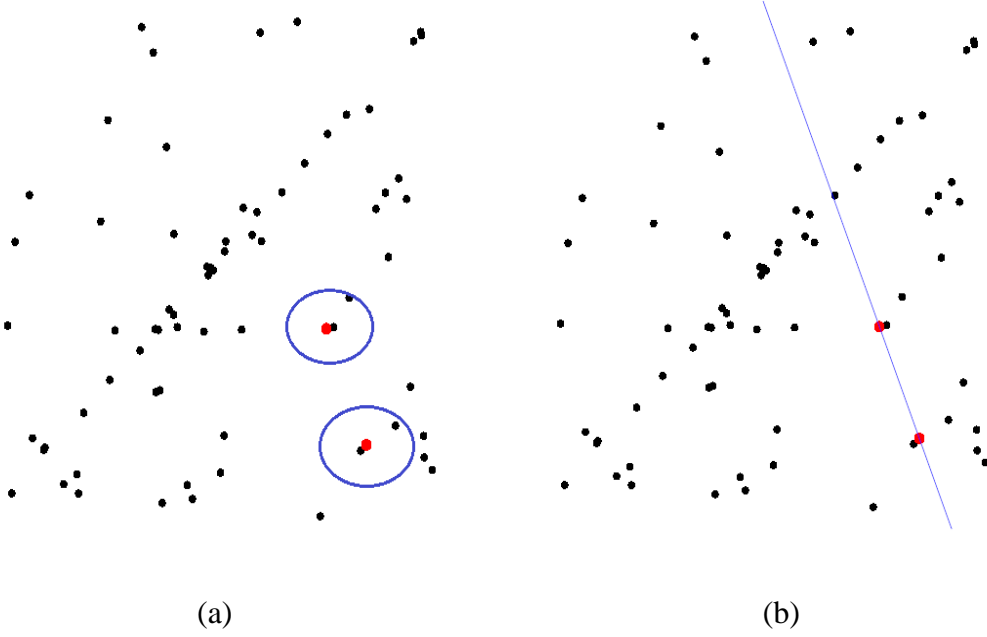
1.5. Rastgele Örneklem Konsensüsü (RANSAC)

Yaygın olarak kullanılan eliminasyon yöntemlerinden biri olan RANSAC %50 düzeyinde hatalı ölçü (outlier) olması veya yanlış eşleşme olduğunda bile örnekler arasından doğruya en yakın sonucu verebilmektedir (Hartley and Zisserman, 2000). Ham veriler RANSAC ile değerlendirildiğinde, seçilen test kümesi için istenilen hata eşik değeri, güven aralığı ve iterasyon sayısına göre işlenmektedir. Test kümesi için seçilen veriler ile oluşturulan model ve bu modelden elde edilen yeni veriler, istenilen hata eşik değerini aşmamışsa ilerleyen işlemlerde tekrar değerlendirilmek üzere diğer verilerden ayrı tutulmaktadır. İterasyon sayısı (12) eşitliği ile elde edilir. Burada T_{iter} , iterasyon sayısıdır.

$$T_{iter} = \left\lceil \frac{\log \varepsilon}{\log(1-q)} \right\rceil \quad (12)$$

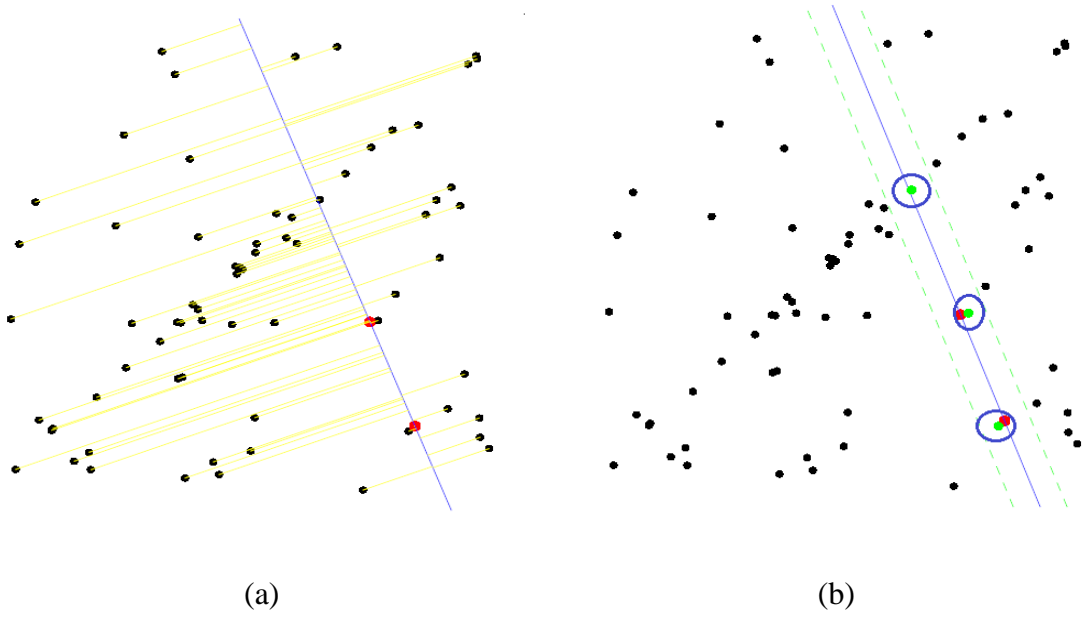
Burada, q , seçilen test verileri için örnekleme olasılığı, ε ise istenen eşik değeri olasılığıdır. RANSAC algoritmasının rastgele seçilen test kümelerinden, hata eşik değerini aşmayan ne kadar miktarda veri elde edeceği, iterasyon miktarına bağlıdır (Zuliani, 2012).

Ham veriler içerisinde seçilen test kümeleri yeterli güven aralığına ulaştığında iterasyon son bulmaktadır. RANSAC kullanılarak en uygun doğrunun oluşturulmasına ilişkin bir örnek incelendiğinde; ilk aşamada, mevcut veriler içerisinde rastgele birkaç nokta seçilerek bu noktalar üzerinden doğru geçirilmiştir (Şekil 10).



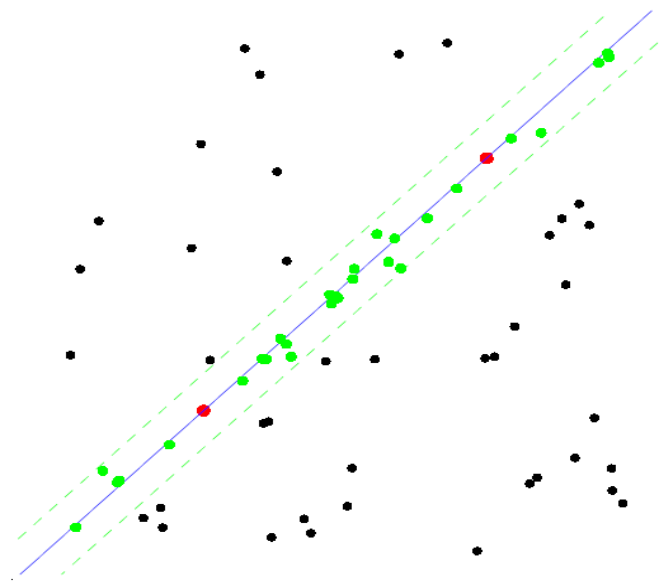
Şekil 10. a) Veriler arasından rastgele nokta seçimi; b) seçilen noktalardan doğru geçirilmesi (URL-2, 2012)

Rastgele seçilen noktalarla oluşturulan doğru ile doğru dışında kalan bütün noktalar arasındaki mesafeler hesaplanarak istenilen sınır dışında kalan noktalar elenmiştir (Şekil 11). Uygun mesafe içerisinde kalan nokta miktarı hesaplanarak, istenilen eşik değerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir. İstenilen koşullar sağlanmadığında iterasyon devam etmektedir.



Şekil 11. a) Oluşturulan doğru ya diğer noktaların mesafelerinin hesaplanması; b) hangi noktaların doğruya istenilen mesafe içinde kaldığının hesaplanması (URL-2, 2012)

İstenilen hata eşik değeri ve güven aralığına bağlı olarak sonlanan iterasyon sayısına göre işlem sonucunda en uygun doğru elde edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. İstenilen eşik değerlerini sağlayan noktaların belirlenmesi ve noktalardan en uygun doğrunun geçirilmesi (URL-2, 2012)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

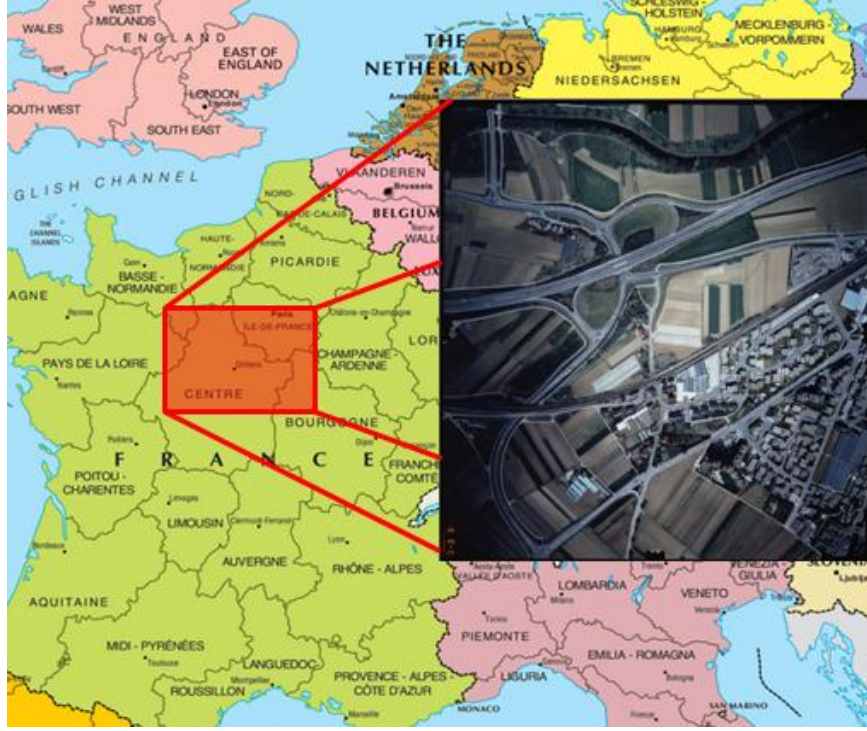
2.1. Çalışma Alanı

MATLAB ortamında hazırlanan yazılımlar yardımı ile uygulama iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, Trabzon Havaalanı bölgesine ait GateWing X100 insansız hava aracı ile elde edilen görüntüler kullanılmıştır (Şekil 13). GateWing X100 insansız hava aracına takılı Ricoh GR Digital III kamerası ile elde edilen dijital stereo görüntüler ile otomatik nokta belirleme algoritmaları kullanılarak oluşturulan nokta çiftlerinin performansları değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada ise Z/I Imaging firmasından test amacıyla temin edilen Fransa'ya ait daha fazla detay içeren analog bir stereo hava fotoğrafı çifti kullanılmıştır (Şekil 14). İkinci uygulamada belirlenen nokta çiftleri ile 3B konum bilgisine geçiş sağlanmış ve elde edilen koordinatlar Erdas yazılımı ile elde edilen manuel koordinatlar ile kıyaslanmıştır.



Şekil 13. Çalışma Alanı 1: Trabzon Havaalanı bölgesi



Şekil 14. Çalışma Alanı 2: Fransa

2.2 Nokta Belirleme Algoritmalarının Uygulanması

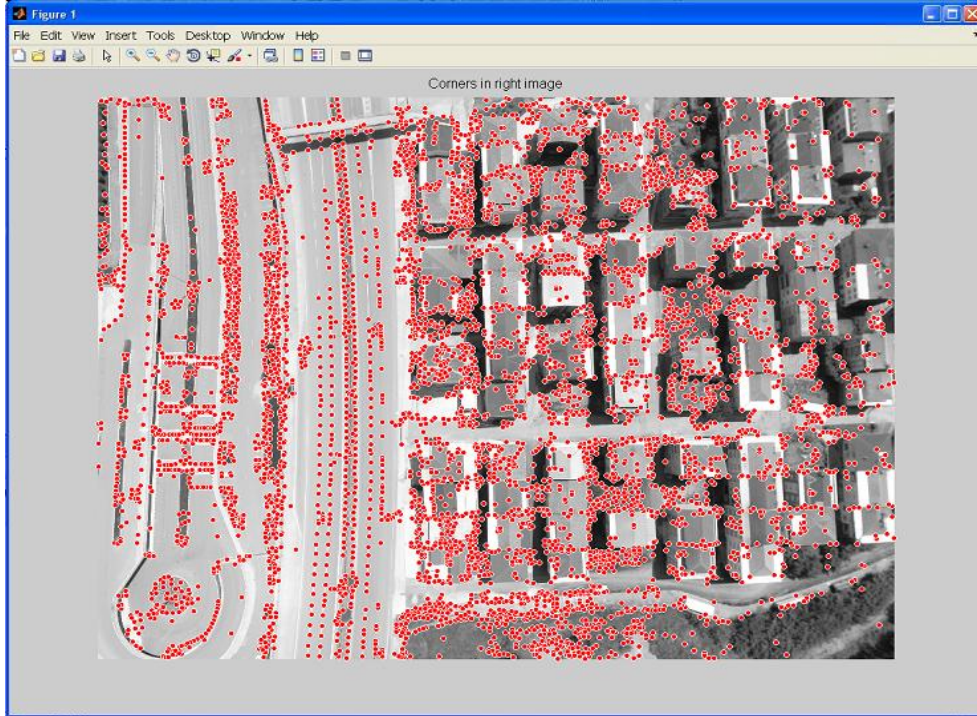
Yeni gelişmelerle birlikte günümüzde nokta ve köşe çıkarımı tabanlı en yaygın kullanılan algoritmalar SURF ve FAST algoritmalarıdır (Guerrero, 2011). Yapılan bu çalışmada, otomatik görüntü eşleştirme işlemi ve nokta çıkarımı için kullanılan SURF, FAST ve en temel algoritmalarından biri olan HARRIS algoritmaları kullanılmış ve bu tekniklerin başarısı, birbiriyle aynı ya da çok yakın parametreler ile test edilmiştir.

Yapılan uygulamada seçilen nokta belirleme algoritmalarını değerlendirmek üzere GateWing X 100 insansız hava aracı yardımıyla yaklaşık 200 metreden elde edilmiş 3648×2736 geometrik çözünürlüklü, Trabzon Havaalanı bölgesine ait, 2.984 mm asal uzaklığı ve 7.2 mikron piksel değeri ile yaklaşık 25 cm çözünürlükle çekilen dijital stereo görüntü çifti kullanılmıştır (Şekil 15). İnsansız hava aracı ile elde edilen veriler kontrol noktalarına bağımlı olarak değerlendirilebildiği için bu görüntüler ile sadece görüntü eşleştirme işlemleri ile ilgili karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 15. Trabzon Konaklar bölgesine ait GateWing X100 ile elde edilmiş stereo görüntüler.

Görüntüler MATLAB ortamında üç farklı algoritma (FAST, SURF ve HARRIS) ile koşturulmuş ve her bir algoritma için görüntüler üzerinde noktalar elde edilmiştir (Şekil 16).

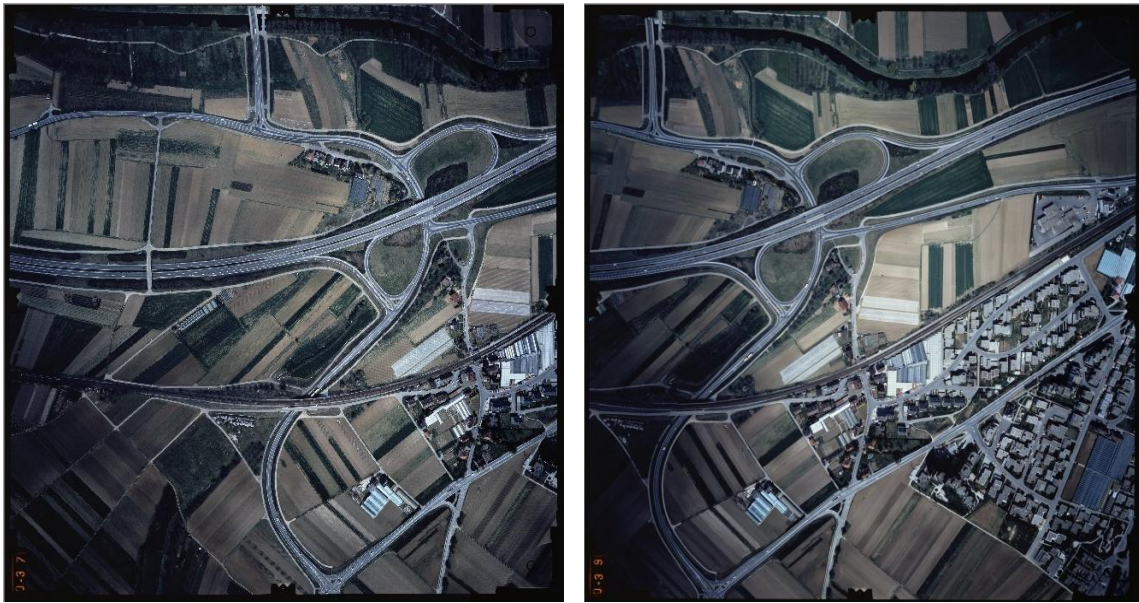


Şekil 16. Havaalanı bölgesinde elde edilen noktalar için örnek görünüm

Nokta çıkarım algoritmaları ile bulunan ortak detay noktalarından en iyilerinin otomatik olarak eşleştirilmesi ve hatalı eşleşmelerin otomatik olarak giderilmesi için RANSAC algoritması kullanılmıştır. Gerçek eşlenik noktaların epipolar çizgiler üzerinde bulunması gerektiğinden, bu şartı sağlayanların belirlenmesi gerekmektedir. Son yıllarda nokta çıkarımı amacıyla yaygın olarak kullanılan SURF, FAST ve HARRIS algoritmalarının RANSAC ile birlikte epipolar çizgiler üzerinde bulunan eşlenik noktaların belirlenmesiyle, fotogrametri ve uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilmiş görüntüler üzerindeki performansları bulgular ve irdeleme bölümünde ortaya koyulmuştur.

2.3 Otomatik Görüntü Eşleştirme ile 3 Boyutlu Konum Tespiti

Konum bilgisi çıkarımı amacı ile yapılan ikinci uygulama için 8412×8346 boyutlarında Fransa'ya ait bir bölgede, yaklaşık 3410 metreden, 153.238 mm asal uzaklığı ve 14 mikron piksel değeri ile yaklaşık 50 cm çözünürlükte analogdan dijitale dönüştürülmüş stereo görüntü çifti kullanılmıştır (Şekil 17). İlk uygulamada insansız hava aracı ile temin edilen ve iç-dış yöneltme elemanları hassas olmayan görüntülerden farklı olarak, ikinci uygulamada kullanılan görüntü çiftine ait iç-dış yöneltme elemanları fotogrametrik değerlendirmeler için ihtiyaç duyulan yeterli hassasiyettedir. Ayrıca manuel değerlendirme için gerekli olan kontrol noktaları da stereo görüntüler üzerinde mevcuttur.



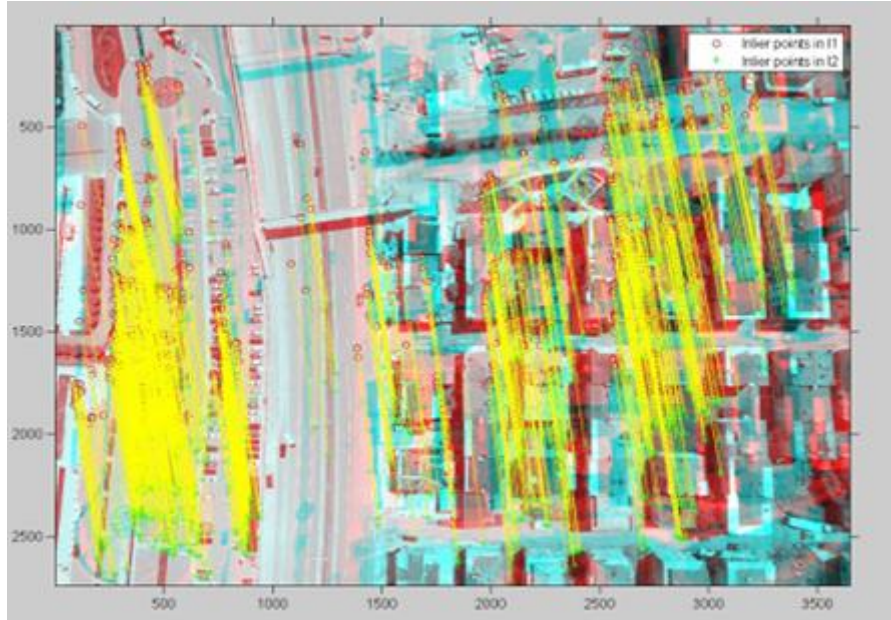
Şekil 17. 3B konum tespiti için kullanılan stereo hava fotoğrafları

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Nokta Belirleme Algoritmalarının Değerlendirilmesi

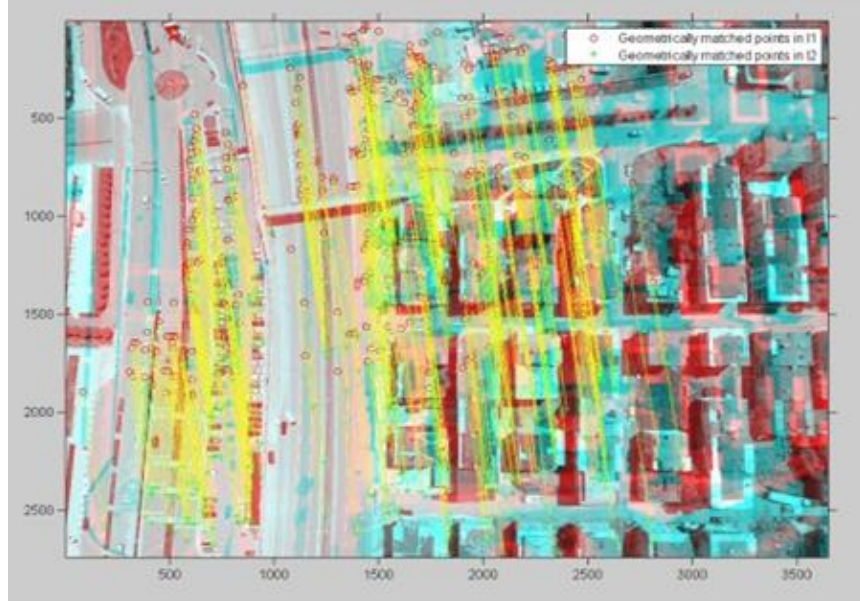
Nokta tespiti için kullanılan algoritmaların başarılarının test edilebilmesi için, elde edilen eşlenik nokta miktarlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19). Uygulama için seçilen görüntüler üzerinden otomatik olarak elde edilen noktalar için tanımlayıcılar oluşturulup, SAD (Sum of Absolute Differences) mutlak farklar toplamına göre aday eşlenik noktalar belirlenmiştir. Elde edilen noktalar stereo görüntüler üzerinde ayırt edilebilmesi için noktalar arasına çizgiler çizilmiştir. Trabzon Havaalanı bölgesinde insansız hava aracı yardımıyla elde edilen görüntüler üzerinde yapılan uygulamada;

SURF algoritması için eşleşen 2274 olası noktadan RANSAC algoritması ile epipolar koşulları sağlayarak geçebilen 826 nokta (Şekil 18),



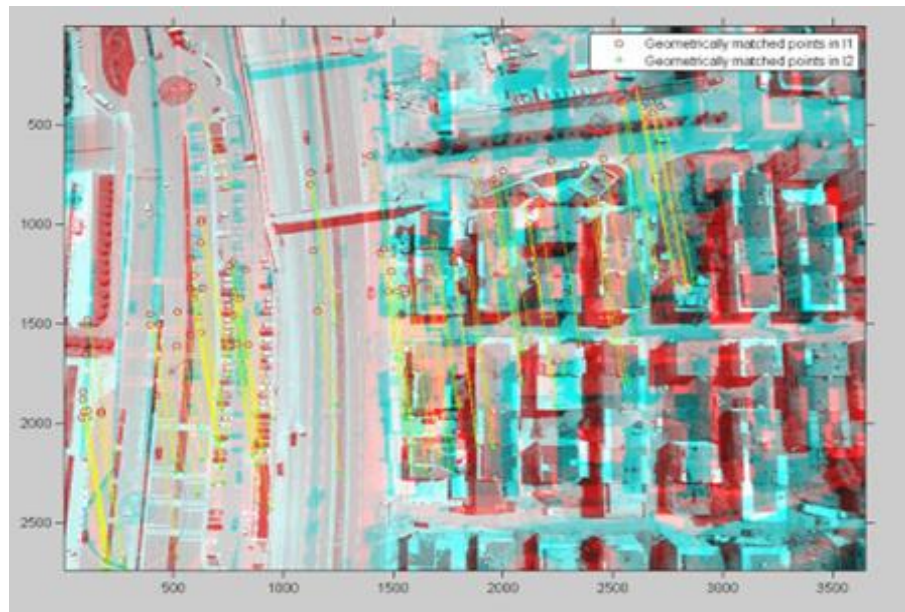
Şekil 18. SURF algoritması ile eşleştirilmiş noktalar

FAST algoritması için 355 olası eşlenik noktadan RANSAC algoritması ile epipolar koşulları sağlayarak geçebilen 154 nokta (Şekil 19),



Şekil 19. FAST algoritması ile eşleştirilmiş noktalar

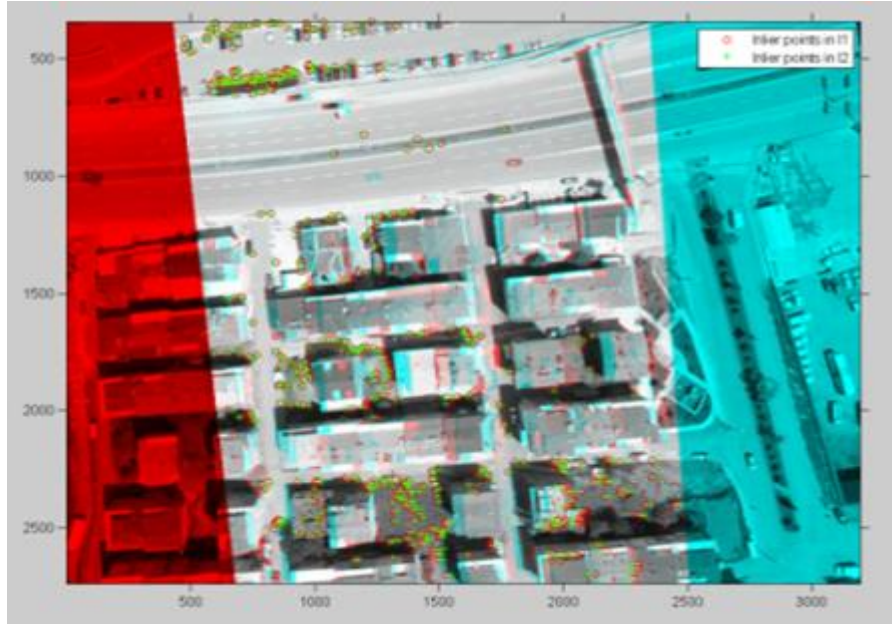
HARRIS algoritmasında ise, 82 olası eşlenik noktadan RANSAC algoritması ile epipolar koşulları sağlayarak geçebilen 30 nokta elde edilebilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. HARRIS algoritması ile eşleştirilmiş noktalar

Elde edilen aday eşlenik noktaların RANSAC algoritması ile değerlendirilip hatalı olanların elemine edilmesinden sonra algoritmaların eşleşen nokta miktarları incelendiğinde; en başarılı algoritmanın SURF, sonrasında FAST ve sonuncu olarak HARRIS algoritması olduğu tespit edilmiştir.

Değerlendirme işlemlerinden sonra stereo görüntüler üzerinde tespit edilen doğru eşleşmiş nokta çiftleri üst üste çakıştırılarak çalışma alanı üzerindeki dağılımları gösterilmiştir (Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23).



Şekil 21. Bindirmeli görüntü ve noktalar (SURF)



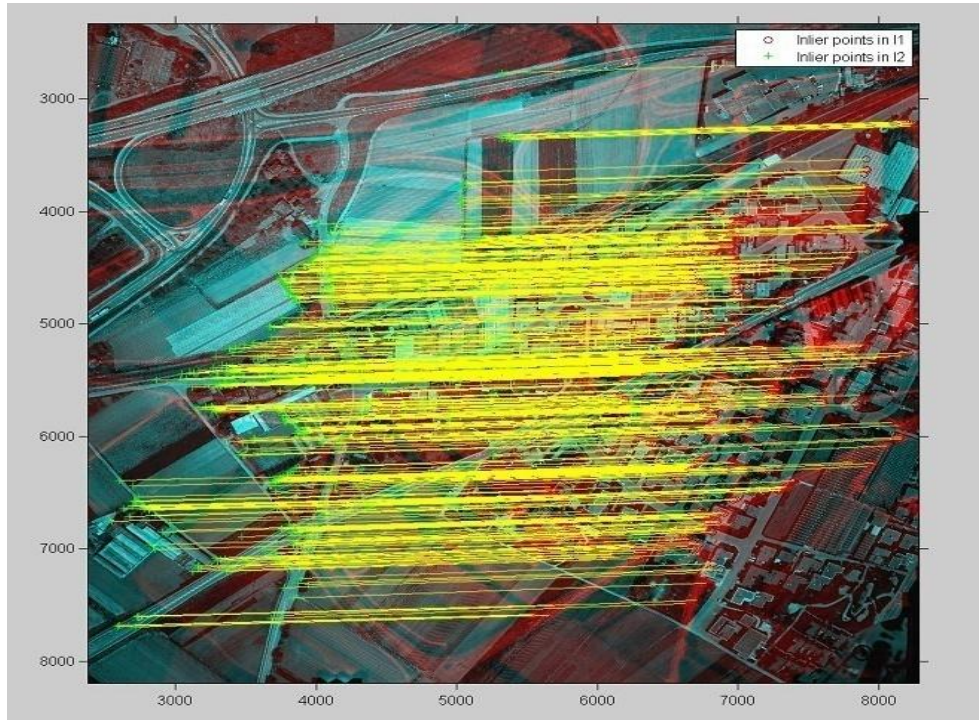
Şekil 22. Bindirmeli görüntü ve noktalar (FAST)



Şekil 23. Bindirmeli görüntü ve noktalar (HARRIS)

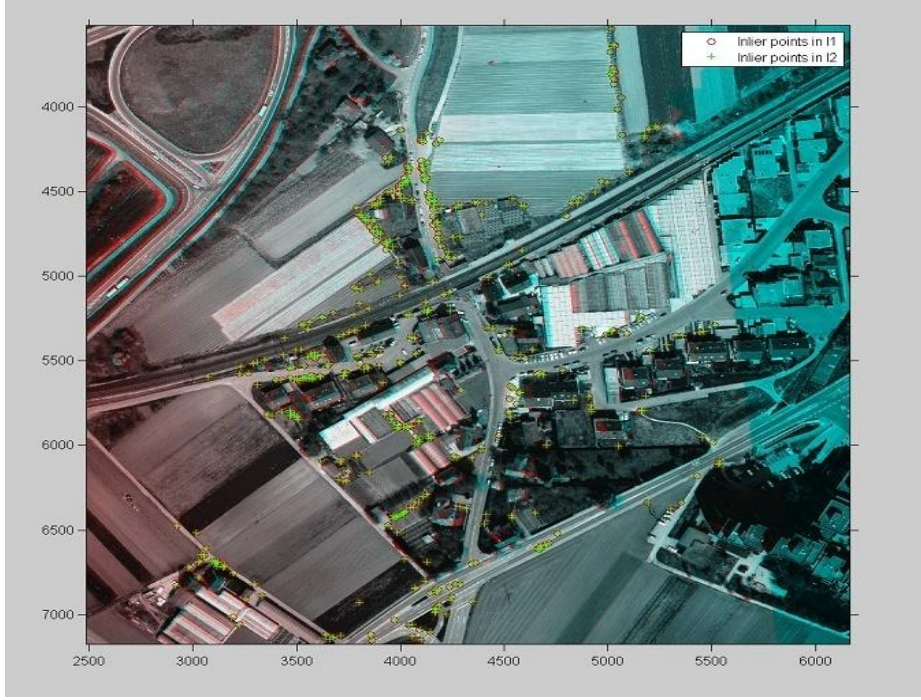
3.2. Otomatik Görüntü Eşleştirme ile Belirlenen 3 Boyutlu Koordinatların Değerlendirilmesi

İkinci uygulama için, ilk uygulamadan elde edilen sonuçlara göre nokta çıkarım amacı ile en fazla nokta çıkarımı yapan SURF algoritması kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan görüntü çifti üzerinde uygulanan SURF algoritması ile elde edilen aday eşlenik noktalar belirlenmiş ve hatalı olanlar giderilmiştir. Elde edilen eşlenik noktaların iki farklı görüntü üzerindeki konumları aralarına çizgiler çizilerek gösterilmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. 3B Konum tespiti için eşleştirilmiş noktalar

MATLAB ortamında hazırlanmış program kullanılarak izdüşüm (doğrusallık) eşitlikleri ile değerlendirilerek bulunan eşlenik noktalar görüntüler üzerinde kırmızı ve yeşil renklerde üst üste çakıştırılmıştır (Şekil 25).



Şekil 25. Bindirmeli görüntüler üzerinde noktaların dağılımı

Koordinatları belirlenen eşlenik noktaların ayırt edilebilmesi amacıyla her bir nokta için nokta adı türetilip görüntü üzerine noktanın bulunduğu konuma yazdırılmıştır (Şekil 26).



Şekil 26. Nokta adları yazdırılmış eşlenik noktalar

Resim koordinatları belli olan nokta çiftleri üzerinden elde edilen 3B koordinatlar, ERDAS yazılımı ile manuel olarak elde edilmiş aynı noktalara ait koordinatlarla kıyaslanmıştır. Yapılan uygulamada rastgele seçilen 20 adet nokta için (Ek 3), manuel olarak hesaplanan ve görüntü eşleştirme algoritmaları ile otomatik olarak hesaplanan koordinatlar (Ek 1) arasındaki X,Y ve Z bazında farklar tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Manuel ve otomatik olarak bulunan arazi koordinatları arasındaki farklar

<i>Nokta No</i>	<i>ΔX (cm)</i>	<i>ΔY (cm)</i>	<i>ΔZ (cm)</i>
6	39.75	0.08	-21.80
428	12.46	-10.85	16.69
9	-0.20	6.06	7.10
14	2.90	-1.52	-15.99
19	15.05	-4.94	-11.88
317	9.45	3.89	13.52
189	10.43	-1.70	-4.17
201	49.99	7.47	-34.35
407	3.72	3.91	7.37
295	07.13	-3.20	-19.91
302	22.70	1.92	4.96
442	-0.30	18.26	27.26
438	31.44	-12.28	-47.59
232	8.50	3.70	8.85
237	30.75	-6.88	-24.61
56	31.31	-2.80	-12.46
119	14.94	-1.20	-3.49
465	19.31	-6.57	-11.9
63	21.93	4.53	2.24
120	14.39	-2.96	-2.38

MATLAB ortamında manuel ve görüntü eşleştirme algoritmaları ile otomatik olarak hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar için karesel ortalama hatalar (m_x , m_y , m_z) hesaplanmıştır. m_x , m_y ve m_z için sırası ile ± 21.83 , 6.75 ve ± 18.80 cm’dir.

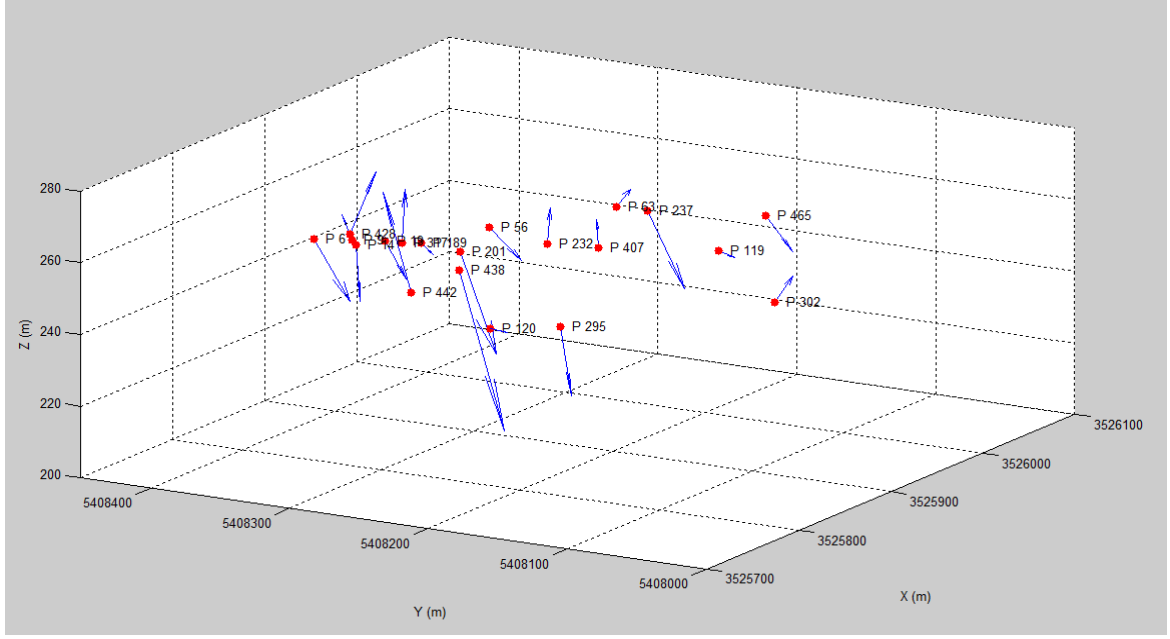
Görüntüler üzerinde tespit edilen noktalar için resim koordinatları (EK 2) incelendiğinde ise piksel bazındaki farklılıklar da hesaplanmıştır (Tablo 3). Manuel ve görüntü eşleştirme algoritmaları ile otomatik olarak belirlenen noktalar için piksel biriminde karesel ortalama hatalar; birinci görüntü için, m_{x1} , m_{y1} sırasıyla ± 1.3855 ,

± 0.5278 , ikinci görüntü için m_{x2} , m_{y2} sırasıyla ± 1.9116 ve ± 0.7707 piksel olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Manuel ve otomatik olarak bulunan resim koordinatları arasındaki piksel bazında farklar

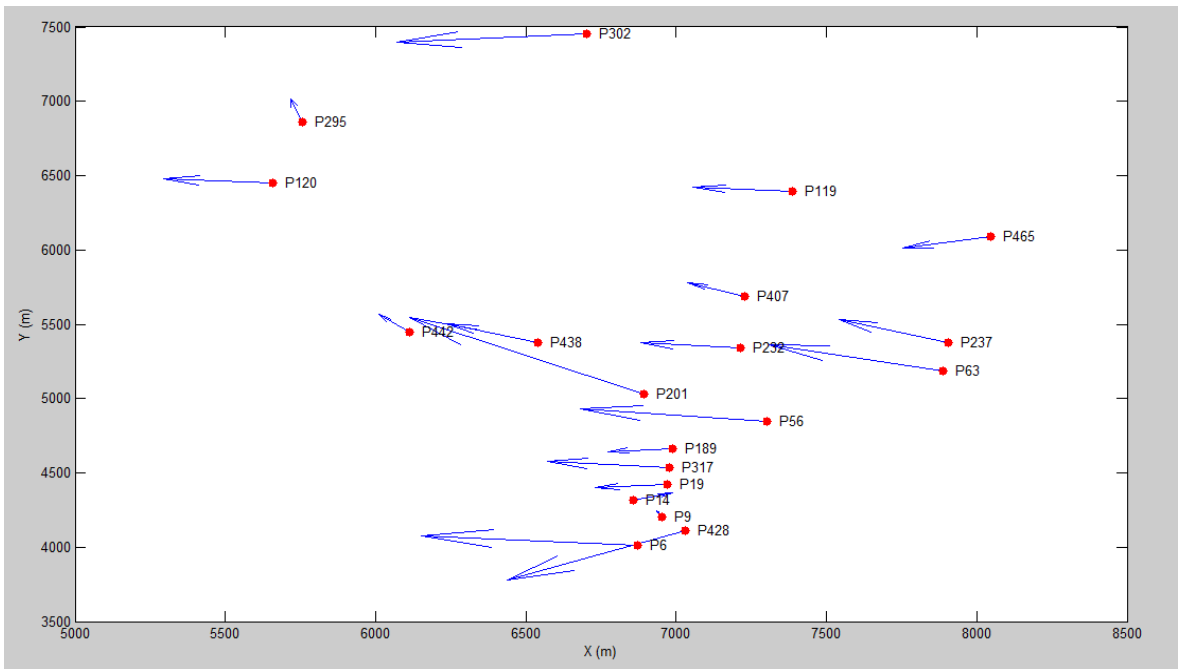
<i>Nokta No</i>	<i>Manuel (piksel)</i>		<i>Otomatik (piksel)</i>	
	Δx_1	Δy_1	Δx_2	Δy_2
6	-2.35	0.20	-3.41	1.01
428	-1.93	-1.04	-1.19	-0.44
9	-0.05	0.14	0.26	0.75
14	0.41	0.15	-0.32	-0.15
19	-0.78	-0.06	-1.35	-0.14
317	-1.33	0.14	-0.71	0.54
189	-0.70	-0.05	-0.91	0.17
201	-2.55	1.67	-4.22	2.18
407	-0.61	0.29	-0.26	0.06
295	-0.12	0.49	-1.09	0.98
302	-2.06	-0.19	-1.87	0.63
442	-0.33	0.38	0.93	1.31
438	-0.99	0.43	-3.26	0.53
232	-1.08	0.12	-0.68	0.36
237	-1.19	0.48	-2.39	0.36
56	-2.02	0.27	-2.65	0.52
119	-1.07	0.08	-1.27	0.42
465	-0.95	-0.24	-1.57	0.52
63	-1.89	0.59	-1.82	0.72
120	-1.18	0.10	-1.30	0.01

Manuel ve otomatik olarak elde edilen 3 boyutlu koordinatlar için hataların 3 boyutta incelenebilmesi amacıyla seçilen 20 nokta için MATLAB ortamında fark vektörleri çizdirilmiştir (Şekil 27). En büyük hata miktarı 201 nolu noktada olup ± 61.00 cm olarak ortaya çıkmıştır. En küçük hata miktarı ise ± 9.98 cm ile 9 nolu noktada oluşmaktadır.



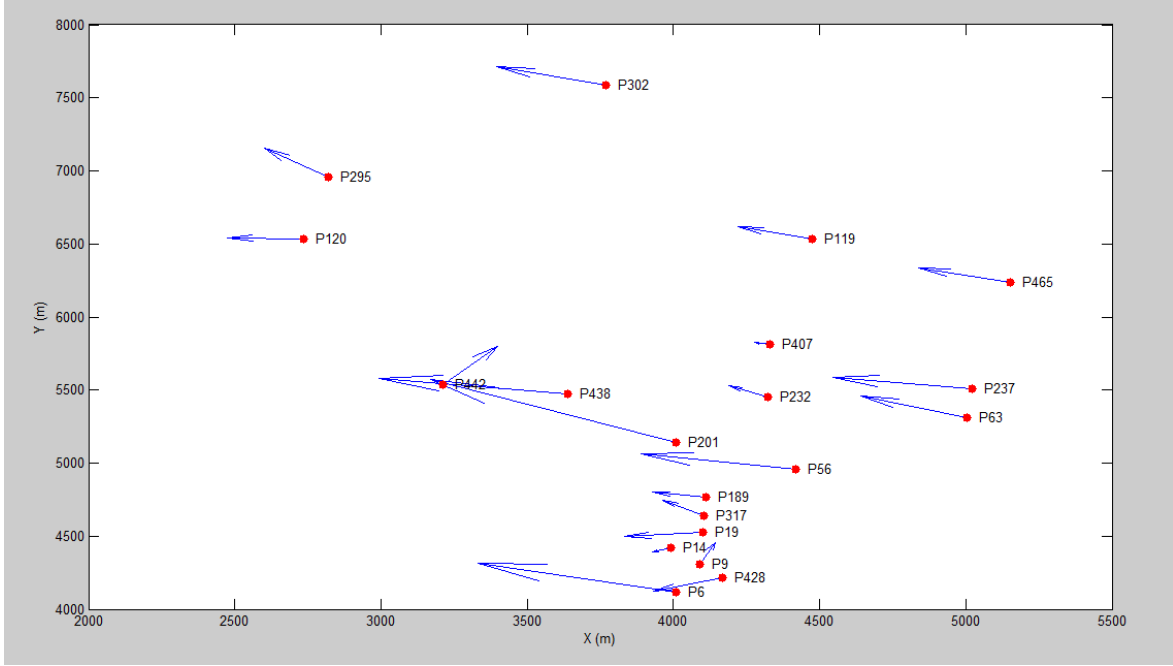
Şekil 27. Manuel ve otomatik olarak hesaplanan koordinat fark vektörleri

Manuel ve otomatik olarak elde edilen eşlenik noktalar için piksel biriminde hataların 2 boyutta incelenebilmesi amacıyla seçilen 20 nokta için MATLAB ortamında birinci görüntü için fark vektörleri çizdirilmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. Birinci görüntü için piksel bazında hatalar

İkinci görüntü için manuel ve otomatik olarak elde edilen eşlenik noktaların fark vektörleri de piksel biriminde çizdirilmiştir (Şekil 29). En büyük hata miktarı 201 nolu noktada olup ± 3.05 piksel, ikinci görüntüde ise aynı nokta hata miktarı ± 4.74 pikseldir. Piksel bazında en küçük hata miktarları ise, birinci görüntü için ± 0.14 ve ikinci görüntü için ise ± 0.79 piksel olarak 9 nolu noktada oluşmaktadır.



Şekil 29. İkinci görüntü için piksel bazında hatalar

Otomatik ve manuel olarak belirlenen piksel koordinatları ile ilgili grafikler incelendiğinde, her bir nokta için iki görüntüde de farklı miktarlarda piksel hataları ile karşılaşılmıştır. Piksel koordinatlarında hesaplanan farklılıkların cisim uzayında da belirlenebilmesi amacıyla MATLAB ortamında resim koordinat sistemine geçilmiş ve üç boyutlu koordinatlara dönüştürülmek üzere hazırlanan programda koşturulmuştur.

Otomatik ve manuel olarak belirlenen 3 boyuttaki koordinatlar, karesel ortalama hatalar dikkate alınarak incelendiğinde cisim uzayında ortalama ± 28 cm hata içermektedir. Bu farkların sebebi olarak, kullanılan görüntülerin analogdan dijitale çevrilmiş olması ve manuel olarak rastgele seçilen noktalardan her birinin bir cisim detayını yansıtmaması olarak düşünülmektedir. Ulaşılabilir mesafedeki bir çalışma alanında yapılacak uygulamaların jeodezik ölçümlerle kontrol edilebilmesi hata hesaplamaları açısından daha doğru sonuçlar verecektir.

Yapılacak sonraki çalışmalarda bu hataların minimuma indirilebilmesi için, kullanılacak görüntü çiftlerinin koordinat dönüşümlerinden kaynaklanan hatalardan daha az etkilenmesi amacıyla yüksek çözünürlüklü dijital stereo görüntü çiftleri kullanılması faydalı görülmektedir. Dönüklük sabit, ölçek sabit ve afin sabit gibi durumların hepsinde çalışabilen SURF algoritmasının daha başarılı olması beklenen bir sonuç olmasına rağmen diğer köşe çıkarım algoritmalarına göre daha yavaş çalışmaktadır. Ayrıca kullanılacak nokta çıkarım algoritmalarının detay noktalarının bulunmasına yönelik uygulanabilir olması detayların otomatik olarak çıkarılabilirliklerini ve kontrol işlemlerini kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Otomatik görüntü eşleştirme işlemi amacıyla yapılan prototip uygulamalarda, fotogrametrik yöntemlerle elde edilen stereo görüntüler için eşleştirme işlemi farklı sayılarda eşlenik noktalarla birlikte başarı ile gerçekleştirilmiştir. Görüntülerin otomatik olarak eşleştirilmesi için MATLAB ortamında hazırlanan nokta çıkarım algoritmaları incelendiğinde, SURF algoritmasının diğer algoritmalara göre daha fazla sayıda eşlenik nokta çıkarımı için olanak sağladığı belirlenmiştir. FAST ve HARRIS köşe algılayıcılarının ise SURF'e göre daha az sayıda eşlenik nokta çıkarımına imkân sağladığı görülmüştür. Köşe çıkarım algoritmaları incelendiğinde, HARRIS algoritmasına göre daha iyi sonuçlar veren FAST algoritması için fotogrametri alanındaki bir diğer temel problem olan otomatik detay çıkarımı amacıyla kullanılabilirliği ilerleyen çalışmalarda araştırılacaktır. SURF algoritması kullanılarak yapılan sayısal uygulama için elde edilen örnek nokta çifti koordinatlarıyla, ERDAS programı ile manüel olarak elde edilen aynı noktaya ait koordinatlar arasındaki farklar, algoritmaların iyileştirilmesi ile daha iyi sonuçlar alınabileceğini göstermektedir. Yapılan uygulamada elde edilen noktalar en üstteki detaylar üzerindeki değişimlere göre tespit edildiğinden, koordinatları tespit edilen noktalar ile sayısal yüzey modeli(DSM) oluşturulabilmektedir. Yapılan bu çalışma, literatürde özellikle fazla detay içeren (bina, ağaç, vs.) büyük görüntülerin otomatikleştirilebilirliği ve koordinat bilgisi çıkarımı ile ilgili yapılan ilk çalışmalardandır. Çalışmaya konu olan algoritmaların fotogrametri ve uzaktan algılamada görüntü yorumlama sürecinde görüntü eşleştirme ve 3B koordinat elde etme amaçlı yapılan temel çalışmaların otomatize edilmesinde önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Bay, H., A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool., 2006. Speeded-up robust features (SURF). Computer Vision ECCV 3951, Lecture Notes in Computer Science, 404, 417.
- Beaudet, P., 1978. Rotationally invariant image operators. Proc. 4th Int. Joint Conference on Pattern Recognition, 579-583.
- Förstner, W. and Guelch, E., 1987, A fast operator for detection and precise location of distinct points, corners and center of circular features, ISPRS Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, Interlaken, Switzerland, 281-305.
- Fraundorfer, F., and Scaramuzza, D., 2012, Visual Odometry, Part II: Matching, robustness, Optimization, and Applications, IEEE Robotics & Automation Magazine, Digital Object Identifier 10.1109/MRA.2012.2182810.
- Guerrero P.M., 2011. Master Thesis: A Comparative Study of Three Image Matching Algorithms: SIFT, SURF and FAST, Utah State University, Logan, Utah.
- Haralik, R.M., 1985. Second directional derivative zero crossing detector using the cubic facet model. Proceedings of 4th Scandinavian Conference on Image Analysis, 17-30.
- Harris, C. and Stephens, M., 1988. A combined edge and corner detector. Proc. Of Alvey Vision Conference, 147-151.
- Hartley R, Zisserman A., 2000. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge, Cambridge University Press.
- Heitger, F., Rosenthaler, L., von der Heydt, R., Peterhans, E. and Kuebler, O., 1992, Simulation of neural contour mechanism: from simple to end-stopped cells Vision Research, 32, 5, 963-981.
- Hlavac, V., RANSAC course notes, Czech Technical University, Faculty of Electrical Engineering, Department of Cybernetics, Center for Machine Perception, 121 35 Praha 2, Karlovonám. 13, Czech Republic.
- Kasser, M. and Egels, Y., 2002. Digital Photogrammetry, London EC4P 4EE.
- Konecny, G., 2003. Geoinformation Remote sensing, Photogrammetry and geographic information systems, London and New York.
- Krause, K., 2004. Photogrammetry Geometry from Image and Laser Scans (2nd edition) New York.

- Linder, W., 2009. Digital Photogrammetry A Practical Course, Universit at Düsseldorf Geographisches Institut Universitätsstr. 1 40225 Düsseldorf Germany.
- Moravec, H.P., 1979. Visual mapping by a robot rover. Proc. 6th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 598-600.
- Potůčková, M., 2004. PhD Thesis: Matching and its applications in Photogrammetry, Aalborg.
- Schenk, T., 1999. Digital Photogrammetry, Volume 1, Background, Fundamentals, Automatic Orientation Procedures, The Ohio State University, America.
- Smith, S.M. and Brady, J.M., 1997. SUSAN – a new approach to low level image processing. Int. Journal Computer Vision, 23, 1, 45-78.
- Tomasi, C. and Kanade, T., 1991. Detection and Tracking of Point Features, Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132.
- Trajkovic, M. and Hedley, M., 1998, FAST corner detector. Image and Vision Computing 16: 75-87.
- Zuliani, M., 2012. RANSAC for Dummies.
- Rosten, E., Porter, R. and Drummond, T., 2010. Faster and Better: A Machine Learning Approach to Corner Detection, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32, 1.
- URL-1 www.kiwi.cs.dal.ca/~dparks/CornerDetection/harris.htm, 13 Kasım 2012.
- URL-2 www.cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/Public/TeachingLectures/RANSAC.pdf, 12 Temmuz 2012.

6. EKLER

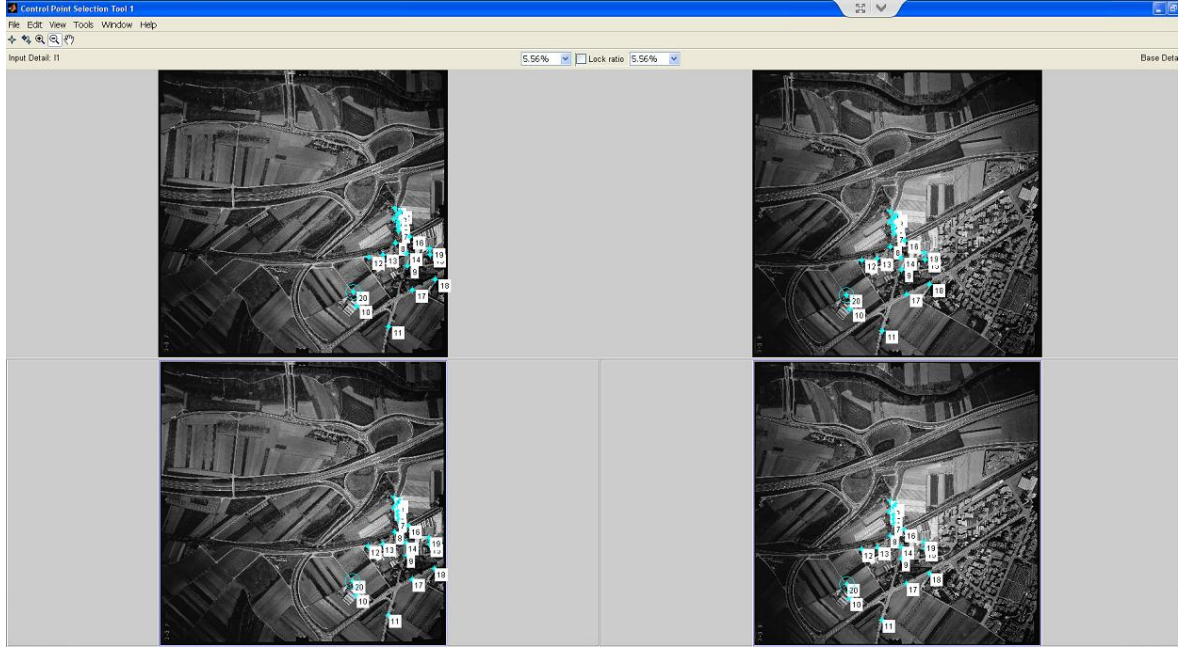
Ek 1. Manuel olarak bulunan ve otomatik hesaplanan arazi koordinatları.

<i>N.N</i>	Manuel			Otomatik		
	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
6	3525929.878	5408434.721	242.8183	3525930.276	5408434.722	242.6003438
428	3525946.593	5408420.172	243.2301	3525946.718	5408420.064	243.3970699
9	3525935.801	5408410.967	243.0801	3525935.78	5408411.027	243.1511697
14	3525922.064	5408399.601	244.0788	3525922.094	5408399.586	243.9189221
19	3525932.793	5408385.316	244.7178	3525932.943	5408385.266	244.5989656
317	3525931.141	5408372.016	245.1869	3525931.235	5408372.055	245.322111
189	3525929.233	5408357.166	246.0459	3525929.337	5408357.149	246.0041426
201	3525909.913	5408316.249	248.0415	3525910.413	5408316.324	247.6979562
407	3525934.465	5408232.955	251.1342	3525934.502	5408232.994	251.2079067
295	3525738.65	5408130.584	256.1406	3525738.722	5408130.552	255.9415202
302	3525835.681	5408040.606	257.405	3525835.908	5408040.625	257.454709
442	3525810.483	5408285.382	249.0442	3525810.453	5408285.565	249.3168903
438	3525861.055	5408284.949	250.0415	3525861.37	5408284.826	249.5655343
232	3525940.611	5408273.882	249.3429	3525940.696	5408273.919	249.431463
237	3526019.584	5408254.503	251.2309	3526019.892	5408254.435	250.9846742
56	3525960.747	5408329.404	248.728	3525961.06	5408329.376	248.6033067
119	3525937.339	5408148.294	254.7806	3525937.488	5408148.281	254.7456655
465	3526020.517	5408169.726	254.561	3526020.71	5408169.661	254.4416496
63	3526021.45	5408277.737	250.8456	3526021.669	5408277.783	250.8679746
120	3525736.234	5408179.849	252.9238	3525736.378	5408179.819	252.899889

Ek 2. Manuel olarak bulunan ve otomatik hesaplanan resim koordinatları.

<i>N.N</i>	<i>Manuel(piksel)</i>				<i>Otomatik(piksel)</i>			
	x_1	y_1	x_2	y_2	x_1'	y_1'	x_2'	y_2'
6	6869.244	4013.39	4006.713	4115.099	6871.598	4013.182	4010.127	4114.085
428	7029.93	4109.04	4167.207	4212.907	7031.868	4110.113	4168.399	4213.348
9	6952.635	4201.997	4089.759	4305.383	6952.689	4201.851	4089.494	4304.629
14	6858.953	4318.609	3990.42	4419.884	6858.535	4318.451	3990.74	4420.039
19	6970.694	4420.946	4100.396	4524.885	6971.484	4421.015	4101.752	4525.027
317	6977.621	4534.16	4105.216	4639.14	6978.951	4534.016	4105.936	4638.591
189	6986.325	4661.149	4110.009	4767.181	6987.027	4661.207	4110.922	4767.008
201	6891.804	5033.42	4004.948	5140.102	6894.362	5031.74	4009.177	5137.913
407	7226.063	5690.746	4329.715	5811.828	7226.677	5690.446	4329.982	5811.764
295	5757.314	6862.964	2818.846	6959.563	5757.442	6862.469	2819.944	6958.578
302	6701.163	7453.027	3766.473	7587.809	6703.224	7453.221	3768.348	7587.169
442	6111.884	5446.897	3212.646	5539.495	6112.214	5446.507	3211.71	5538.184
438	6537.414	5373.706	3637.012	5474.473	6538.405	5373.275	3640.277	5473.936
232	7211.811	5338.598	4323.456	5455.209	7212.893	5338.477	4324.139	5454.839
237	7904.21	5379.387	5020.222	5511.711	7905.402	5378.897	5022.621	5511.343
56	7299.358	4846.125	4414.85	4958.945	7301.38	4845.846	4417.502	4958.419
119	7385.036	6395.987	4474.935	6531.642	7386.115	6395.905	4476.213	6531.214
465	8046.186	6086.864	5151.524	6235.245	8047.144	6087.109	5153.102	6234.72
63	7886.052	5182.975	5002.99	5312.676	7887.944	5182.376	5004.817	5311.951
120	5656.779	6447.737	2734.308	6536.637	5657.967	6447.631	2735.614	6536.625

Ek 3. Manuel seçilen rastgele 20 noktanın dağılımı



ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Sinop/Gerze'de doğdu. İlköğretim eğitimini Gerze Gazi Mustafa Kemal İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini ise Gerze Şehit Nurullah Saraç Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünü kazandı. Bir yıl İngilizce hazırlık eğitimi ile birlikte 2010 yılında aynı üniversiteden mezun oldu. Lisans eğitimi boyunca satranç, dalgıçlık, model uçak/havacılık ve robot kulübü gibi birçok sosyal kulübe katıldı ve kendi bölümü ile ilgili birçok sempozyum komisyonunda görev aldı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesini, Türkiye Üniversiteler Arası Satranç Şampiyonasında 4 yıl süre ile temsil etmiştir. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılında ZKÜ' de yüksek lisans ders aşamasını tamamladıktan sonra Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) ile Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümüne, Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevi sürdürmektedir.